



TUGAS AKHIR - TE 145561

**ANALISA KOORDINASI HYBRID AC/DC MIKROGRID
UNTUK MELAYANI BEBAN INTERMITEN DENGAN
METODE PERBANDINGAN KOMBINASI OPERASI
JARINGAN**

Hafidz Aditya Pratama
NRP 07111645000040

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Dr.Ir Soedibyo, MMT.

DEPARTEMEN S1 TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 145561

***HYBRID AC / DC COORDINATION ANALYSIS TO
SERVE INTERMITTENT LOADS WITH COMBINATION
OF NETWORK OPERATIONS METHODS***

Hafidz Aditya Pratama
NRP 07111645000040

Advisor
Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Dr.Ir Soedibyo, MMT.

ELECTRICAL ENGINEERING S1 STUDY PROGRAM
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Analisa Koordinasi Hybrid AC/DC Mikrogrid untuk Melayani Beban Intermiten dengan Metode Perbandingan Kombinasi Operasi Jaringan**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya,



Hafidz Aditya Pratama
NRP 0711164500040

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**ANALISA KOORDINASI HIBRID AC/DC MIKROGRID UNTUK
MELAYANI BEBAN INTERMITEN DENGAN METODE
PERBANDINGAN KOMBINASI OPERASI JARINGAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

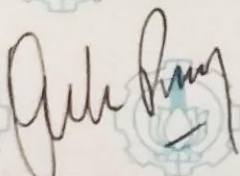
Pada

Bidang Studi Sistem Tenaga Listrik
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Prof. Ir. H. Ontoseno

Penangkas, M.Sc. Ph.D
NIP. 194907151974121001


Dr. Ir Soedibyo, MMT.

NIP. 195512071980031004



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

ANALISA KOORDINASI HIBRID AC/DC MIKROGRID UNTUK MELAYANI BEBAN INTERMITEN DENGAN METODE PERBANDINGAN KOMBINASI OPERASI JARINGAN

Pembimbing 1 : Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D

Pembimbing 2 : Dr.Ir Soedibyo, MMT

ABSTRAK

Energi Baru Terbarukan (EBT) sebagai energi alternatif yang tidak menghasilkan emisi karbon terus ditinjau secara terus-menerus. Mulai dari ketersediaanya, teknologi yang digunakan dan juga tinjauan mengenai kondisi-kondisi yang dapat mempengaruhi kontinuitas dari sistem kerjanya. Penemuan EBT sendiri diimplementasikan ke sebuah sistem DG (*Distributing Generator*). DG adalah pembangkit tersebar yang membentuk sistem kelas kecil yang disebut mikrogrid (jaringan skala kecil) sistem tenaga listrik. Pada dasarnya EBT merupakan energi primer dari mikrogrid. Oleh karena itu mikrogrid mempunyai karakteristik yang bergantung pada pasokan dayanya, yang diklasifikasikan menjadi 2, yaitu intermiten dan primer. Intermiten adalah dimana EBT sebagai sumber energi primer tidak dapat memberikan pasokan energi selama 24 jam/hari untuk mengoperasikan sistem, contoh angin dan matahari. Primer adalah dimana EBT sebagai sumber energi primer dapat diandalkan untuk mengoperasikan sistem selama 24jam/hari untuk menyalurkan daya listrik seperti : air, panas bumi, biomasa dan nuklir. Selain sifat intermiten pada sisi sumber, terdapat pula sisi intermiten pada sisi beban, dimana intermiten pada sisi beban artinya beban beroperasi pada interval yang terputus-putus (tidak kontinyu), dimana sifat tersebut mempunyai pengaruh yang besar pada jaringan, contohnya : *charging electric vehicle*. Penetrasi dari *electric vehicle* sebagai beban intermiten diasumsikan berada pada area kantor dimana beban dari *charging* dapat mempengaruhi penurunan kualitas daya dan kestabilan pada sistem. Karena adanya permasalahan tersebut maka dikombinasikan antara pembangkitan mikrogrid dan pembangkitan yang bersumber dari utilitas untuk di analisa kombinasi operasi yang paling optimal dari kombinasi mikrogrid ketika melayani beban intermiten yang disimulasikan dengan menggunakan ETAP 16. Dari hasil simulasi didapatkan drop tegangan dibawah standar dan variasi gelombang transient pada komponen sistem, akibat pengaruh dari *charging electric vehicle* pada sistem.

Kata Kunci : EBT, DG, mikrogrid, intermiten, *electric vehicle*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

HYBRID AC / DC COORDINATION ANALYSIS TO SERVE INTERMITTENT LOADS WITH COMBINATION OF NETWORK OPERATIONS METHODS

1st Advisor : Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D

2nd Advisor : Dr.Ir Soedibyo, MMT

ABSTRACT

Renewable Energy (EBT) as an alternative energy that does not produce carbon emissions continues to be reviewed on an ongoing basis. Starting from the availability, the technology used and also the review of conditions that may affect the continuity of the system work. EBT discovery itself is implemented into a DG (Distributing Generator) system. DG is a scattered generator that forms a small class system called microgrid (small-scale network) power system. Basically EBT is the primary energy of microgrids. Therefore microgrids have characteristics that depend on their supply of power, which are classified into two, ie intermittent and primary. Intermittent is where EBT as primary energy source can not provide energy supply for 24 hours / day to operate system, for example wind and solar . Primary is where EBT as a primary energy source can be relied upon to operate the system for 24 hours / day to distribute electrical power such as water, geothermal, biomass and nuclear. In addition to the intermittent nature of the source side, there is also an intermittent side on the load side, which is intermittent on the load side meaning the load operates at intervals that are discontinuous, where such properties have a large influence on the network, eg charging electric vehicle. The penetration of the electric vehicle as intermittent load is assumed to be in the office area where load from charging affects the decrease of power quality and stability of the system. Due to problems affecting power quality degradation, it is combined between generation of microgrids and generation derived from the utility for the most optimal combination of operation combinations of microgrid combinations when serving intermittent loads simulated using ETAP 16. From the simulation results obtained voltage drop below standard and transient wave variation in each system component, due to the influence of charging electric vehicle on the system.

Keywords : *EBT (Renewable Energy Sources), DG (Distributed Generator), microgrid, intermittent, electric vehicle*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Strata-I pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

ANALISA KOORDINASI HIBRID AC/DC MIKROGRID UNTUK MELAYANI BEBAN INTERMITEN DENGAN METODE PERBANDINGAN KOMBINASI OPERASI JARINGAN

Tentunya pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Ontoseno Penangsang dan Bapak Soedibyo, atas segala tuntunan dan waktunya dalam membimbing penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Kedua Orang Tua penulis yang selalu memberikan nasehat, saran, semangat dan do'a kepada penulis sehingga tugas akhir ini bisa terselesaikan.
3. Keluarga adik-adik penulis, Rahma dan Alya yang juga memberikan dorongan semangat dan dukungan pada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Sahabat dan rekan terkasih penulis, Ella yang selalu memberikan dorongan semangat, dan dukungan hingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman-teman lab PSSSL yang turut memberikan saran dan masukan kepada penulis pada saat mengalami kesulitan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen dan staff karyawan Departemen Teknik Elektro-FTE ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
7. Teman-teman satu angkatan LJ Elektro ITS 2016 yang juga turut membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir

Surabaya, ()

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	x
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Maksud dan Tujuan.....	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
1.7. Relevansi	3
BAB II	5
LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.2. Mikrogrid	6
2.3. Energi Baru Terbarukan (EBT).....	7
2.3.1 Sistem Tenaga Surya.....	8
2.3.2 Sistem Tenaga Angin.....	12

2.3.3	Generator Diesel	18
2.3.4	Baterai	18
2.4	Grid Electric.....	19
2.5	Sistem Hibrid Mikrogrid.....	19
2.5.1	Keuntungan Sistem Hibrid Mikrogrid	20
2.6	Intermiten.....	20
2.7	Electric Vehicle.....	21
BAB III.....		23
PERANCANGAN SISTEM.....		23
4.1	Metodologi dan Flowchart	23
4.2	Perancangan Sistem	25
4.2.1	Sistem Grid Utility	25
4.2.2	Sistem Mikrogrid.....	26
4.2.3	Sistem Hibrid AC/DC Mikrogrid	35
4.2.4	Model Beban	39
4.3	Metode Analisa	41
4.3.1	Analisa Load Flow	41
4.3.2	Analisa Transient Stability	42
BAB IV		45
ANALISIS DAN PERENCANAAN		45
4.1	Analisa Steady State Aliran Daya.....	45
4.1.1	Mode Terhubung <i>Grid Utility</i>	46
4.2	Analisa Sistem Beban Intermiten.....	62
4.2.1	Analisa Kestabilan Transien	63
BAB V		75
PENUTUP		75
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....		77

LAMPIRAN 79

RIWAYAT HIDUP

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Komponen Photovoltaic	11
Gambar 2.2 <i>Panel/PV Module</i>	11
Gambar 2.3 Bentuk Fisik Sistem Tenaga Angin	13
Gambar 2.4 Komponen Sistem Tenaga Angin	14
Gambar 2.5 Bentuk Fisik Nacelle Housing	15
Gambar 2.6 Bentuk Fisik <i>Hub</i>	15
Gambar 2.7 Bentuk Fisik <i>Pitch System</i>	16
Gambar 2.8 Bentuk Fisik <i>Main Shaft</i>	16
Gambar 2.9 Bentuk Fisik <i>Gearbox</i>	17
Gambar 2.10 Bentuk Fisik Generator	17
Gambar 2.11 Topologi Hibrid Mikrogrid AC/DC.....	19
Gambar 2.12 Diagram Bahan Bakar Sistem <i>Electric Vehicle</i>	21
Gambar 2.13 Grafik Pertumbuhan Mobil Listrik Global 2005-2016	22
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Alur Pengerjaan.....	24
Gambar 3.2 Topologi Sistem <i>Grid Utility</i>	25
Gambar 3.3 Sistem PV <i>Grid Tie</i> Tanpa Baterai	27
Gambar 3.4 Sistem PV <i>Grid Tie</i> dengan Baterai.....	27
Gambar 3.5 Sistem PV <i>Stand alone</i>	28
Gambar 3.6 Sistem <i>Grid Tie</i> WTG Tanpa Baterai	30
Gambar 3.7 Sistem <i>Grid Tie</i> WTG dengan Baterai	30
Gambar 3.8 Skema Pemasangan WTG Tipe 1	31
Gambar 3.9 Skema Pemasangan WTG Tipe 2	31
Gambar 3.10 Skema Pemasangan WTG Tipe 3	32
Gambar 3.11 Skema Pemasangan WTG Tipe 4	33
Gambar 3.12 Mode Operasi AC/DC Mikrogrid dari PV dan WTG dengan <i>Grid Utility</i> untuk Beban AC	37
Gambar 3.13 Mode Operasi AC/DC Mikrogrid dari PV dengan <i>Grid Utility</i> untuk Beban AC	37
Gambar 3. 14 Mode Operasi AC/DC Mikrogrid dari PV, WTG, Baterai, & Diesel dengan <i>Grid Utility</i> untuk Beban AC & DC.....	38
Gambar 3. 15 Mode Operasi AC/DC Mikrogrid dari PV, WTG & Baterai dengan <i>Grid Utility</i> untuk Beban AC & DC	38
Gambar 3. 16 <i>Load Flow Analysis Study case</i> pada ETAP	42
Gambar 3. 17 <i>Transien Stability Analysis Study case</i> pada ETAP	43

Gambar 4. 23	<i>Terminal Current</i> pada WTG pada saat <i>charging electric vehicle</i> masuk	67
Gambar 4. 24	Arus Sekunder TR-1 dan TR-2 pada saat <i>charging electric vehicle</i> masuk	67
Gambar 4. 25	Simulasi <i>Transient Stability</i> saat EV lepas	68
Gambar 4. 26	<i>Power Angle</i> pada Diesel Generator pada saat <i>charging electric vehicle</i> lepas.....	69
Gambar 4. 27	<i>Terminal Current</i> pada Diesel Generator pada saat <i>charging</i>	69
Gambar 4. 28	<i>Voltage Angle</i> pada Bus AC pada saat <i>charging electric vehicle</i> masuk	70
Gambar 4. 29	<i>Voltage</i> pada Bus AC pada saat <i>charging electric vehicle</i> lepas.....	70
Gambar 4. 30	<i>Terminal Voltage</i> pada WTG pada saat <i>charging electric vehicle</i> lepas.....	71
Gambar 4. 31	<i>Terminal Current</i> pada WTG pada saat <i>charging electric vehicle</i> lepas.....	72
Gambar 4. 32	Arus Sekunder TR-1 dan TR-2 pada saat <i>charging electric vehicle</i> lepas.....	72

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 3. 1 Data Rating Peralatan Saat Mode Operasi <i>Grid Utility</i> dan Beban.....	25
Tabel 3. 2 Data Rating Sistem PV dan Inverter.....	29
Tabel 3. 3 Data Rating Sistem WTG dan Kabel.....	33
Tabel 3. 4 Data Rating Diesel Generator dan Kabel.....	34
Tabel 3. 5 Data Rating Baterai dan Inverter	35
Tabel 3. 6 Data Komponen Sistem AC dan DC	36
Tabel 3. 7 Data Beban Kantor Pada Simulasi <i>Lumped Load</i>	40
Tabel 3. 8 Data Spesifikasi <i>Electric Vehicle</i> dan <i>Charging Station</i>	40
 Tabel 4.1 <i>Load Flow Report</i> Mode Operasi 1	47
Tabel 4.2 <i>Load Flow Report</i> Mode Operasi Paralel grid – mikrogrid 1	51
Tabel 4.3 Hasil <i>load flow</i> operasi hybrid AC/DC mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode paralel grid – mikrogrid 1	51
Tabel 4.4 <i>Load Flow Report</i> Mode Operasi Paralel grid – mikrogrid 2.....	53
Tabel 4.5 Hasil <i>load flow</i> operasi hybrid AC/DC mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode paralel grid – mikrogrid 2	53
Tabel 4.6 <i>Load Flow Report</i> Mode Operasi Paralel grid – mikrogrid 3.....	55
Tabel 4.7 Hasil <i>load flow</i> operasi hybrid AC/DC mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode paralel grid – mikrogrid 3.....	55
Tabel 4.8 <i>Load Flow Report</i> Mode Operasi Paralel grid – mikrogrid 3.....	57
Tabel 4.9 Hasil <i>load flow</i> operasi hybrid AC/DC perbaikan mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode paralel grid – mikrogrid 3.....	57
Tabel 4. 10 <i>Load Flow Report</i> Mode Operasi Paralel grid – mikrogrid 4.....	59
Tabel 4. 11 Hasil <i>load flow</i> operasi hybrid AC/DC perbaikan mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode paralel grid – mikrogrid 4.....	59

Tabel 4. 12	<i>Load Flow Report</i> Mode Operasi Paralel grid – mikrogrid 4	61
Tabel 4. 13	Hasil <i>load flow</i> operasi hybrid AC/DC perbaikan mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode paralel grid – mikrogrid 4	61
Tabel 4. 14	Hasil <i>load flow</i> keseluruhan operasi hybrid AC/DC berdasarkan karakteristik cuaca mode paralel grid – mikrogrid	62

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi fosil yang pada saat ini digunakan sebagai sumber energi pokok yang mendominasi dalam pembangkitan sistem tenaga listrik perlu dilakukan perubahan. Perubahan dilakukan karena semakin menipisnya sumber energi fosil terutama batubara dan minyak bumi dikarenakan eksploitasi yang bertahun-tahun dilakukan tanpa henti untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Tantangan untuk melakukan transisi sumber energi fosil telah dilakukan, sehingga mendapatkan inovasi energi baru yaitu Energi Baru Terbarukan (EBT) berupa matahari, angin, air, biomasa, *fuel cell*, dll.

Energi Baru Terbarukan (EBT) yang gencar diposisikan sebagai pengganti dari energi fosil terus ditinjau dan dilakukan mitigasi untuk beberapa permasalahan. Salah satu diantara permasalahan yang sering terjadi adalah dimana EBT sebagai sumber energi primer mempunyai sifat intermiten, yang artinya sumber energi primer tidak selalu dapat mensuplai selama 24 jam/hari ataupun sifatnya berubah-ubah tergantung dari kondisi cuaca, contohnya : matahari dan angin. Hal tersebut dapat menyebabkan keandalan dan efisiensi dari sistem tenaga listrik berkurang.

Selain permasalahan dari sisi sumber juga terdapat permasalahan pada sisi beban, dimana beban juga mempunyai karakteristik/sifat intermitennya, yang artinya beban yang sifatnya tidak dapat diprediksi masuk dan lepasnya, kemudian mempunyai pengaruh yang besar pada sistem dikarenakan kapasitas dari beban yang besar. Permasalahan selanjutnya terdapat pada koordinasi sistem AC/DC, dimana suatu *grid Distributing Generator* (DG) yang bersumber dari EBT yang juga dilengkapi *media storage* berupa baterai dan inverter untuk mengkonversi dari sumber DC baterai ke bus AC (*grid*) *joint* ke *grid* kemudian dibebani dengan beban berupa *Electric Vehicle*. Diketahui bahwa ketika *Electric Vehicle* melakukan *charging* dan *discharging* pada stasiun pengisian merupakan suatu *duty cycle* yang sifatnya intermiten dikarenakan terjadi proses pembebanan yang besar yang intervalnya tidak teratur masuk dan lepasnya.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik intermiten beban ?
2. Bagaimana pengaruh intermiten beban pada sistem?

3. Bagaimana simulasi koordinasi yang optimal pada saat *grid* AC/DC dibebani berupa beban yang sifatnya intermiten ?

1.3 Batasan Masalah :

1. Respon dinamis dari karakteristik intermiten sumber
2. Perbaikan sistem dari pengaruh adanya intermiten beban

1.4 Maksud dan Tujuan

Tujuan yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik intermiten sumber
2. Mengetahui karakteristik intermiten beban
3. Mengetahui pengaruh intermiten beban pada sistem.
4. Mengetahui koordinasi yang sistem hybrid AC/DC saat beroperasi pada simulasi ETAP

1.5 Metodologi

Metodologi yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah :

1. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan mempelajari *paper* dan buku yang sesuai dengan topik tugas akhir. Materi yang dipelajari yaitu :

- Mikrogrid
- *Renewable energy*
- *Distributing Generator*
- Pengaruh *charge* dan *discharge Electric Vehicle* pada stasiun pengisian baterai
- Simulasi dari mikrogrid dan *Electric Vehicle* dengan ETAP

2. Pengumpulan Data Komponen Jaringan

Pada tahapan awal tugas akhir ini adalah mengumpulkan data-data komponen yang mengacu ke *thesis*[4] sebagai parameter mulai dari sisi sumber sampai jaringan. Kemudian untuk beban mengacu ke data parameter spesifikasi dari *Electric Vehicle*. Data-data ini digunakan sebagai parameter dalam proses simulasi aliran daya pada ETAP.

3. Simulasi Aliran Daya Sistem

Setelah mengumpulkan data dari seluruh komponen pada jaringan, dilakukan simulasi *load flow* dengan menggunakan program ETAP, untuk mengetahui seluruh parameter aliran daya yang melewati tiap-tiap bus dengan berbagai mode penyalan pembangkit.

4. Evaluasi Hasil

Setelah melakukan simulasi aliran daya dengan program ETAP, dilakukan evaluasi hasil dari parameter aliran daya dari tiap-tiap bus. Agar ketika melakukan analisa hasil dari simulasi dapat lebih akurat.

5. Analisa Hasil Percobaan

Setelah selesai evaluasi hasil, maka dilakukan proses analisa untuk mengetahui koordinasi dari sistem mikrogrid dan *grid* yang optimal, mengetahui efek yang terjadi ketika diberi beban dengan karakteristik intermiten berupa *Electric Vehicle* dan bagaimana mengatasi kondisi beban tersebut dengan interkoneksi *grid* yang ada.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan buku Tugas Akhir ini, pembahasan mengenai sistem yang dibuat disusun dengan sistematika sebagai berikut :

1. BAB I PENDAHULUAN yaitu membahas tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, sistematika penulisan serta relevansi yang digunakan dalam Tugas Akhir yang dibuat.
2. BAB II TEORI PENUNJANG yaitu menjelaskan dasar teori yang berisi tentang konsep yang dijadikan landasan dan mendukung dalam penyusunan Tugas Akhir.
3. BAB III PERANCANGAN SISTEM yaitu mengenai penjelasan mengenai data dan metode yang akan digunakan untuk melakukan analisa kasus.
4. BAB IV ANALISA KOORDINASI yaitu membahas tentang koordinasi dan optimalisasi dari operasi sistem ketika melayani beban.
5. BAB V PENUTUP yaitu kesimpulan dari Tugas Akhir ini dan saran-saran untuk pengembangan selanjutnya.

1.7 Relevansi

Manfaat dari Tugas Akhir “Analisa Koordinasi Hibrid AC/DC Mikrogrid untuk Melayani Beban Intermiten dengan Metode Perbandingan Kombinasi Operasi Jaringan” ini antara lain :

1. Untuk Institusi

Sebagai bekal mahasiswa setelah lulus dari ITS, agar mendapat bekal dan pengalaman untuk merancang suatu sistem distribusi kelas mikrogrid.

2. Untuk bidang ilmu pengetahuan

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui koordinasi dari sistem mikrogrid dan *grid* yang optimal, mengetahui efek yang terjadi saat dibebani beban dengan karakteristik intermiten berupa *Electric Vehicle* dan bagaimana optimalisasi dari interkoneksi *grid* yang dibebani *Electric Vehicle* tersebut. Tujuannya sebagai perencanaan sistem mikrogrid kedepannya dalam pengembangan sistemnya, baik dalam koordinasi sumber tenaga dan optimalisasi penyalurannya agar dapat tetap andal meskipun menghadapi berbagai macam karakteristik beban.

BAB II

LANDASAN TEORI

Untuk memahami persoalan yang dibahas pada buku Tugas Akhir “Analisa Koordinasi Hybrid AC/DC Mikrogrid untuk Melayani Beban Intermiten dengan Metode Perbandingan Kombinasi Operasi Jaringan”, berikut ini perlu dijelaskan konsep teori Uraian teori tersebut adalah sebagai berikut:

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang mengandung unsur-unsur yang kompleks yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dimulai dari sistem pembangkitan menuju ke sistem transmisi kemudian ke sistem distribusi dan pada akhirnya sampai ke konsumen (utilisasi). Didalam penyaluran daya dari pembangkit sampai ke konsumen dibutuhkan beberapa macam level tegangan yang berbeda untuk setiap sistemnya. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik biasanya merupakan Tegangan Menengah (TM), kemudian di sistem transmisi karena kebutuhan penyaluran pada sistem transmisi dihadapkan dengan kendala jarak, maka level tegangan dinaikan dengan menggunakan trafo step up, level tegangan yang digunakan pada sistem transmisi yaitu Tegangan Ekstra Tinggi (TET) atau Tegangan Tinggi (TT). Setelah disalurkan melalui sistem transmisi dengan level tegangan TE atau TET, kemudian sampai di sistem distribusi level tegangan diturunkan menggunakan trafo step down ke level Tegangan Menengah (TM). Dari TM kemudian level tegangan kembali diturunkan untuk memenuhi kebutuhan utilisasi ke level Tegangan Rendah (TR). [9]

Energi listrik yang dibangkitkan pada sistem tenaga listrik merupakan suatu proses konversi dari energi primer yang bervariasi, dimulai dari PLTU (uap), PLTG (gas), PLTA (air), PLTB (angin), PLTS (surya), PLTD (diesel), dll. Jenis pembangkit yang digunakan pada umumnya tergantung dari jenis bahan bakar atau energi primer yang tersedia yang digunakan untuk memutar turbin yang terkopel dengan generator. [9]

Kini sistem tenaga listrik semakin menuju era yang semakin canggih. Kebutuhan energi listrik yang disalurkan melalui sistem tenaga listrik menunjukkan perubahan yang signifikan dimulai dari inovasi-inovasi yang dikembangkan, seperti penemuan pusat sistem tenaga listrik yang berdekatan dengan lokasi beban, sehingga dapat memangkas biaya

penyaluran namun tetap dapat menjaga keandalan dari sistem tenaga listrik.

2.2. Mikrogrid

Mikrogrid adalah suatu jaringan kelas kecil dengan menggunakan pembangkit tersebar atau disebut juga *Distributing Generator* (DG) yang dioperasikan untuk memasok listrik di area yang terpencil yang tidak terjamah oleh *grid* atau bersifat *stand-alone*, ataupun juga digunakan sebagai *back-up* penyalur daya listrik ke masyarakat luas (*on-grid*). Kedua mode operasi tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

a. *Stand-alone (Off Grid)*

Mode operasi *stand alone microgrid (off grid)* merupakan mode operasi dimana sistem kelistrikan tidak terhubung pada main grid (utilitas tenaga listrik). Pembangkit yang ada beroperasi secara mandiri dalam memenuhi kebutuhan sistem. Mode operasi ini menekankan pada stabilitas sistem terutama frekuensi dan tegangan.[3]

b. *Grid Connected (On Grid)*

Mode operasi *Grid Connected* merupakan mode operasi dimana sistem terhubung ke main grid (utilitas tenaga listrik). Pembangkit yang beroperasi bersama dengan utilitas tenaga listrik dalam memenuhi kebutuhan sistem. Mode operasi ini digunakan untuk meningkatkan power factor di PCC (*Point of Common Coupling*) dan optimisasi profil tegangan sistem.[3]

Berdasarkan sumber distribusi dan beban terhubung, mikrogrid diklasifikasikan AC dan DC berdasarkan daya yang didistribusikan. Mikrogrid AC mempunyai keunggulan karena dapat memanfaatkan teknologi yang ada berdasarkan dengan sirkuit proteksi dan standar yang dibutuhkan, namun untuk komponen reaktif sistem harus di stabilkan dan di sinkronkan. Mikrogrid DC pada umunya lebih mudah untuk dikontrol dan dapat menguntungkan, karena dapat mengeliminasi konversi AC-DC hanya dengan menggunakan peralatan elektronika daya. Mikrogrid dilengkapi dengan perangkat elektronika daya yang berfungsi untuk mengatur kontinuitas penyaluran daya ke beban. Pada umumnya mikrogrid dapat diklasifikasikan ke dalam tiga jenis :

a. Mikrogrid Rumahan

Mikrogrid jenis ini dimanfaatkan di lingkungan masyarakat seperti perumahan , kampus, ruko dan perkantoran. Permasalahan yang sering terjadi terkait dengan jenis mikrogrid tipe perumahan adalah

ketika mikrogrid beralih ke grid dari mode berdiri sendiri (*islanding*), yaitu menyebabkan impuls pada tegangan dan frekuensi. Oleh karena itu stabilitas dan keandalan sistem merupakan masalah yang perlu diperhatikan pada tipe mikrogrid perumahan.

b. Mikrogrid Terpencil

Mikrogrid jenis diterapkan di daerah pedesaan atau pulau, dimana sulit bagi utilitas untuk menjangkau dan menjaga pasokan energi tetap andal. Jenis mikrogrid ini mencegah kerugian saluran transmisi dan distribusi, selain itu juga dapat mengurangi emisi CO₂ dari utilitas. Masalah yang dihadapi untuk tipe ini adalah sistem harus andal untuk berdiri sendiri (*stand-alone*).

c. Mikrogrid Mobile

Mikrogrid jenis ini harus mempunyai fleksibilitas sistem yang baik. Oleh karena itu, alasan utama penggunaan mikrogrid ini karena mudah dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain dan bila dibutuhkan.

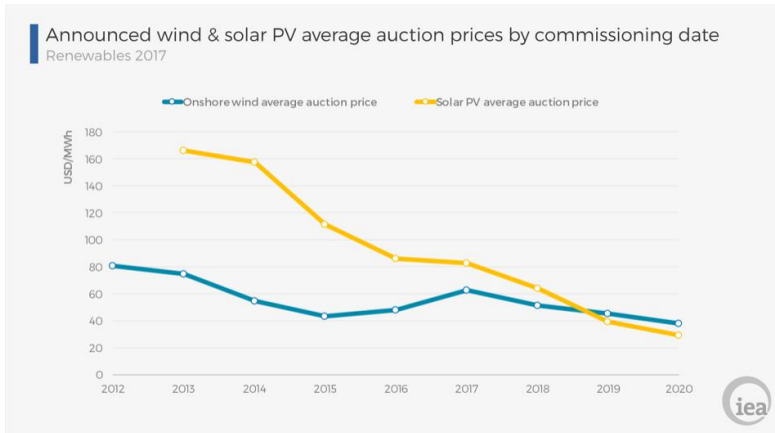
Alasan popularitas mikrogrid di era modernisasi ini sangat dibutuhkan, dikarenakan pasokan dari energi fosil yang semakin menipis dan juga sangat dibutuhkannya pengurangan emisi gas dunia yang sebagian besar disebabkan karena pembakaran dari batubara yang merupakan bahan bakar dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), deregulasi atau kebijakan persaingan bidang energi, selain itu sifat dari mikrogrid sendiri yang hemat energi karena hanya membutuhkan energi primer yang dapat diperbarui seperti angin dan matahari.

2.3 Energi Baru Terbarukan (EBT)

Energi Baru Terbarukan / *Renewables Energy* merupakan sumber energi primer yang sifatnya dapat diperbarui dan tidak menimbulkan polusi, contoh, matahari, angin, air, geothermal, biomassa, gelombang laut. Mitigasi mengenai EBT terus dipersiapkan untuk menghadapi risiko perubahan iklim dan pemanasan global di dunia yang berdampak dari pemakaian bahan bakar yang tiada henti. Di antara sumber daya terbarukan lainnya, dalam 30 tahun terakhir sistem tenaga surya dan angin yang paling mengalami pertumbuhan pesat di seluruh dunia.

Karena sifatnya yang dapat dikatakan fleksibel, artinya dapat dipasang di daerah dekat beban, sehingga dapat mengurangi kebutuhan beban saluran transmisi dan distribusi sistem tenaga listrik. Peralihan ke sistem energi berbasis energi terbarukan semakin terlihat karena biaya dari

energi terbarukan cenderung semakin menurun sementara harga minyak dan gas terus berfluktuasi.



Gambar 2. 1 Grafik Harga Pembangkitan Energi Angin & Surya (2012 – 2020) [10]

2.3.1 Sistem Tenaga Surya

Sistem tenaga surya adalah suatu sistem yang tersusun dari komponen konversi energi berupa energi surya menjadi energi listrik. Sistem surya terdiri sistem penyusunnya diantaranya.

2.3.1.1 Energi Surya

Energi surya adalah energi yang berupa sinar radiasi dan panas dari matahari. Matahari atau surya merupakan suatu bola gas yang sangat panas akibat reaksi fusi nuklir yang terjadi pada intinya. Energi yang berasal dari reaksi inti tersebut kemudian dipancarkan ke segala arah. Energi surya yang diterima bumi seluruhnya dalam bentuk radiasi yang menembus atmosfer hingga mencapai ke permukaan bumi, yang sampai pada permukaan bumi hanya tinggal $\pm 800\text{W/m}^2$ hingga 1000W/m^2 . Sebenarnya pemanfaatan dari energi surya bukanlah hal yang baru.

Pemanfaatan akan energi surya secara lebih intensif baru muncul setelah timbulnya krisis energi yang melanda dunia pada tahun 1970-an. Aplikasi dari energi ini sangat besar manfaatnya dalam berbagai macam sektor, mulai dari sektor pertanian, transportasi, pangan, kesehatan sampai ke sektor teknologi. Pada sektor teknologi energi surya dimanfaatkan sebagai konversi energi listrik menggunakan *photovoltaic system*.

2.3.1.2 Intensitas Radiasi Surya

Pada umumnya energi surya yang sampai di permukaan bumi dalam bentuk paket gelombang elektromagnetik yang disebut *photon*. Tumbukan *photon* pada bahan akan menghasilkan proses penyerapan oleh bahan dan menimbulkan kenaikan temperature (panas). Namun demikian energi surya yang menuju bumi tidak seluruhnya diserap oleh atmosfer bumi dan dihamburkan oleh molekul-molekul udara. Besarnya energi matahari (surya) yang diterima permukaan bumi dalam bentuk radiasi dinyatakan dengan satuan konstanta surya. Yang dimaksud konstanta surya adalah besarnya energi matahari yang dapat diterima oleh suatu permukaan per satuan waktu per satuan luas, pada jarak rata-rata bumi matahari, dimana permukaan tersebut tegak lurus terhadap sinar matahari pada permukaan datar.

Adapun besarnya konstanta surya diluar atmosfer bumi adalah 1.94 kalori/cm².menit, sedangkan di permukaan bumi adalah sebesar 1.37 kalori/cm².menit. Besarnya energi radiasi surya yang mencapai permukaan bumi bervariasi, sehingga dalam menentukan besarnya energi surya ini perlu diketahui besarnya intensitas radiasi surya dan pengaruh atmosfer terhadap distribusi gelombang elektromagnetik sinar matahari serta pengaruh dari rotasi dan revolusi bumi.

Intensitas radiasi matahari yang jatuh ke permukaan bumi pada umumnya terdiri dari : intensitas radiasi matahari langsung, intensitas matahari difusi dan intensitas matahari pantulan. Intensitas radiasi matahari langsung adalah radiasi yang diterima oleh permukaan bumi tanpa adanya perubahan arah. Intensitas radiasi surya difusi adalah radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi setelah mengalami perubahan arah yang disebabkan oleh pemantulan dan hamburan oleh atmosfer. Intensitas radiasi pantulan adalah radiasi matahari yang dipantulkan oleh lingkungan sekelilingnya.

2.3.1.3 Photovoltaic System

Photovoltaic (PV) adalah perangkat yang berfungsi mengkonversi energi sinar radiasi matahari ke energi listrik. Komponen PV terdiri dari komponen *P-N junction* atau batas pertemuan antara kedua bahan semikonduktor tipe P (positif) dan tipe N (negatif). Didalam kedua buah semikonduktor tersebut terdapat berbagai macam komposisi bahan yang sangat peka terhadap cahaya antara lain : silicon monokristalin, silicon polikristalin, silicon amorphous, gallium arsenide, indium phosphide dan cadmium/tembaga sulfide, tetapi pada umumnya digunakan bubuk silicon, sebagai bahan semikonduktor . Masing-masing dari bahan tersebut memiliki efisiensi yang berbeda dan dipengaruhi oleh

temperatur selnya. Efisiensi akan menurun pada temperatur yang lebih tinggi.

PV terdiri dari beberapa *solar cell*, yang tiap sel-selnya terhubung secara seri atau paralel untuk membentuk deretan PV yang secara umum disebut *PV modules*. Dalam pengoperasiannya, perangkat PV sangat bergantung pada iklim dan cuaca terutama kondisi sinar radiasi yang dipaparkan oleh matahari, sehingga ketika iklim dan cuaca tidak mendukung saat PV beroperasi, dapat menyebabkan perubahan tegangan dan arus output, sehingga dapat berdampak pada kestabilan sistem.

Untuk mengatasi ketidakstabilan yang terjadi, sistem yang saat ini diterapkan pada PV untuk mendapatkan jumlah energi dari sinar radiasi matahari agar mendapatkan efisiensi maksimum yaitu dengan mengaplikasikan sistem MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) pada *PV string*. Dengan menerapkan sistem ini ke *PV module* dapat memberikan efek lebih baik ke sistem, sehingga penyaluran daya lebih optimal. Sistem PV dikombinasikan dengan peralatan konversi daya berupa inverter yang mengkonversikan listrik dari DC – AC untuk mensuplai beban pada jaringan.[7]

Pada perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan berbagai macam level pembangkitan tergantung dari kebutuhan, perencanaan dapat dilakukan dengan merangkai modul surya tersebut hingga diperoleh besaran *output* yang diinginkan, sehingga perhitungan jumlah modul surya dengan kapasitas tertentu dapat dilakukan.

Adapun cara untuk menentukan kapasitas *array photovoltaic* yaitu dengan persamaan berikut :

$$C_p = A \times 1000 \frac{W}{m^2} \times ME \times PF \dots\dots\dots (2.1)[7]$$

dimana :

C_p = Kapasitas *array photovoltaic* (Watt)

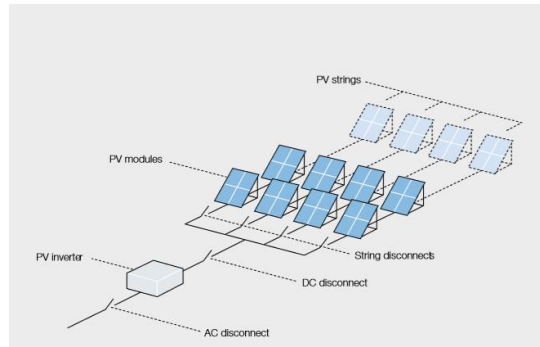
A = Luas permukaan modul (m^2)

ME = Efisiensi modul

PF = Faktor *packing*

2.3.1.3.1 Komponen Photovoltaic

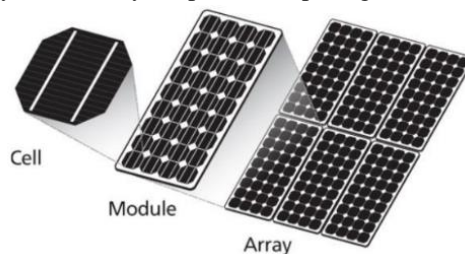
PV terdiri dari beberapa komponen penyusun yang mempunyai fungsinya masing-masing. Pada gambar dibawah ini merupakan topologi dari sistem PV :



Gambar 2.1 Komponen Photovoltaic [11]

I. Panel/PV Modules

Panel merupakan komponen dari PV yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses konversi energi dari energi panas akibat sinar radiasi matahari yang diserap ke sistem menjadi energi listrik (DC) melalui proses kimia yang terdapat pada sel-sel pada modul tersebut. Pada dasarnya modul PV terdiri dari beberapa komponen penyusunnya diantaranya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.2 Panel/PV Module [11]

Dari gambar diatas dapat dijelaskan beberapa fungsi dari masing-masing komponen penyusun dari PV module diantaranya :

II. Inverter

Inverter merupakan komponen yang berfungsi mengkonversi listrik dari DC – AC. Inverter mengambil sinyal arus rendah dan tegangan tinggi dari panel PV kemudian mengkonversikan tegangan menjadi 120 VAC (240 VAC) yang secara langsung kompatibel dengan *power grid*.

III. PV Strings

Peralatan ini digunakan untuk menempatkan panel surya pada tempat yang terkena radiasi sinar matahari maksimal dengan posisi yang sesuai.

IV. Disconnecting Switch

Saklar pemisah yang digunakan untuk memutuskan aliran daya dari PV modules ke inverter berupa DC disconnect switch dan inverter ke beban berupa AC disconnect switch.

2.3.1.3.2 Keuntungan Sistem Photovoltaic

- a. Energi primer dari sistem PV yang sifatnya tidak terbatas, tidak menimbulkan polusi dan mudah untuk diakses.
- b. Sifat dari PV yang andal dan kebutuhan perawatan yang rendah meskipun dalam kondisi yang keras.
- c. Sifat dari PV yang sangat fleksibel dan dapat diatur sesuai kebutuhan beban apabila diatur untuk mensuplai beban skala yang besar maka pemasangan solar cell dapat diperbanyak untuk menghasilkan daya yang besar begitu juga dapat digunakan untuk mensuplai beban kecil skala rumah tangga.
- d. Sistem PV dapat diandalkan untuk memikul beban puncak karena dapat dioperasikan dalam waktu yang cepat.
- e. Sistem PV dapat mengurangi biaya untuk infrastruktur transmisi listrik.

2.3.1.3.3 Kerugian Sistem Photovoltaic

- a. Biaya investasi awal yang tinggi dibandingkan dengan sumber pembangkit berskala besar lainnya.
- b. Output dari PV yang sangat bergantung dari ketersediaan radiasi sinar matahari, intensitas cuaca, dan iklim.
- c. Sistem PV mempunyai efisiensi yang rendah.
- d. Kebutuhan pengetahuan akan teknologi sistem PV yang masih kurang, sehingga konsep dari sistem PV kurang maksimal.

2.3.2 Sistem Tenaga Angin

Sistem tenaga angin adalah suatu sistem yang tersusun dari komponen konversi energi berupa energi angin yang diubah menjadi energi mekanik berupa putaran baling kincir angin dan kemudian menghasilkan energi listrik. Di bawah ini merupakan gambar dari fisik turbin angin



Gambar 2.3 Bentuk Fisik Sistem Tenaga Angin [6]

Sistem tenaga angin juga tersusun dari beberapa komponen penyusun untuk dapat menghasilkan energi listrik, mulai dari energi primer berupa angin, turbin, generator dan juga beberapa komponen *power converter* yang tersusun didalamnya.

2.3.2.1 Energi Angin

Energi angin adalah energi yang terbentuk akibat gejala gerakan udara yang dipengaruhi oleh perbedaan suhu di atmosfer. Hembusan angin merupakan peristiwa perpindahan massa udara dari daerah dingin ke daerah panas dengan kekuatan berbeda –beda, bergantung pada perbedaan suhu saat itu. Energi ini juga banyak dimanfaatkan dalam berbagai macam sektor seperti sektor pertanian, kesehatan, transportasi dan teknologi. Pada sektor teknologi energi angin sama seperti halnya energi surya, yaitu dimanfaatkan sebagai konversi energi listrik dengan perantara berupa turbin angin sebagai energi mekanik.

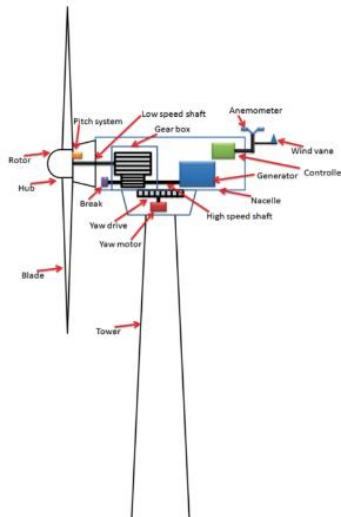
$$P = C_p \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots (2.2)[3]$$

Keterangan :

- C_p = Koefisien energi angin
- ρ = Kerapatan udara
- A = Area yang dilalui angin
- V = Kecepatan angin

2.3.2.2 Komponen Sistem Tenaga Angin

Dalam konversi energi menjadi energi listrik sistem tenaga angin membutuhkan komponen pendukung yang berfungsi untuk mengubah energi yang awalnya berupa energi angin menjadi energi listrik, berikut ini komponen penyusun sistem tenaga angin :



Gambar 2.4 Komponen Sistem Tenaga Angin [6]

2.3.2.2.1 Turbin Angin

Turbin angin merupakan komponen dari sistem tenaga angin yang berupa kincir yang berfungsi menghasilkan energi mekanik berupa putaran dari energi angin yang tersedia. Dalam konstruksinya turbin angin memiliki 2 jenis konstruksi, yaitu turbin angin horizontal dan vertikal. Turbin angin horizontal memiliki konstruksi sumbu kincir yang terpasang pada ujung menara konstruksi sistem tenaga angin dengan arah horizontal. Konstruksi dari turbin angin horizontal cenderung membutuhkan menara yang tinggi untuk mendapatkan akses angin yang lebih kuat sehingga mendapat energi mekanik atau putaran yang efektif sehingga menghasilkan energi listrik yang lebih stabil. Untuk turbin angin horizontal putaran dari turbin bergantung pada arah angin dan kecepatan angin yang melawan posisi dari turbin. Turbin angin vertikal memiliki konstruksi sumbu kincir yang tegak lurus, biasanya ditempatkan pada bagian dasar pada menara. Konstruksi dari sumbu vertikal membuat turbin angin tipe vertikal

tidak bergantung dari arah angin, sehingga untuk jenis turbin ini dapat ditempatkan pada area yang arah anginya bervariasi. Untuk desain dari turbin angin tipe vertikal mempunyai desain *blade* yang berbeda dengan tipe horizontal, turbin angin tipe vertikal lebih memiliki banyak lekukan dan juga bentuk *blade* bervariasi tidak seperti halnya turbin angin tipe horizontal.

2.3.2.2.2 *Nacelle Housing*

Nacelle Housing merupakan tempat dimana *part* atau komponen internal rakitan sistem tenaga angin ditempatkan, mulai dari *break system*, *gear box*, *low speed shaft*, *high speed shaft*, *yaw drive*, *yaw motor*, *generator* dan *controller*. Dibawah ini merupakan penampakan fisik dari komponen *nacelle housing* pada turbin angin.



Gambar 2.5 Bentuk Fisik *Nacelle Housing* [6]

2.3.2.2.3 *Hub*

Hub merupakan bagian yang berfungsi sebagai tempat terpasangnya *blade* turbin angin dan juga sebagai bantalan *blade* turbin angin saat berputar. Dibawah ini merupakan penampakan fisik dari komponen *hub* pada turbin angin.



Gambar 2.6 Bentuk Fisik *Hub* [6]

2.3.2.2.4 Pitch System

Pitch system merupakan komponen yang berfungsi untuk melakukan pengaturan posisi sudut dari *blade* turbin angin, sehingga distribusi angin dapat efektif mengenai *blade* turbin angin sehingga menghasilkan putaran turbin yang lebih optimal. Sistem ini pada umumnya digerakan oleh sistem motor listrik dengan roda gigi ataupun sistem hidrolik dengan sensor-sensor dan peralatan kontrol yang terpasang dan juga catu daya dari masing-masing komponennya. Dibawah ini merupakan penampakan fisik dari komponen *pitch system* pada turbin angin.



Gambar 2.7 Bentuk Fisik *Pitch System* [6]

2.3.2.2.5 Main Shaft

Main Shaft merupakan komponen yang berfungsi sebagai poros dari *rotor blade* ke *gear* sebagai pengatur kecepatan putaran yang diterima dari *rotor blade*. Terdapat dua jenis *shaft* yang menyusun komponen sistem tenaga angin, yang terdekat dengan rotor blade adalah *low speed shaft* atau poros yang digunakan untuk melakukan pengereman kecepatan yang diterima dari *rotor blade* sebelum masuk ke *gearbox*. *High speed shaft* difungsikan sebagai poros putaran tinggi yang dihasilkan dari gearbox, percepatan putaran dapat mencapai 100 – 200 kali untuk turbin blade dengan ukuran MW.



Gambar 2.8 Bentuk Fisik *Main Shaft* [6]

2.3.2.2.6 Gearbox

Gearbox merupakan peralatan yang berfungsi untuk menghubungkan antara *low speed shaft* dengan *high speed shaft*. Berfungsi untuk melakukan kompresi *ratio* kecepatan yang di terima oleh *low speed shaft* dari putaran *turbin blade* kemudian output dari *gearbox* terkopel dengan *high speed shaft* yang menghasilkan percepatan putaran dari *output gearbox* 100-200 kali untuk turbin blade dengan skala MW untuk memutar generator. Dibawah ini merupakan penampakan fisik dari komponen *gearbox* pada turbin angin.



Gambar 2.9 Bentuk Fisik Gearbox [6]

2.3.2.2.7 Generator

Generator merupakan peralatan utama untuk melakukan konversi energi listrik. Generator menghasilkan energi listrik AC dengan frekuensi rata-rata 50-60 Hz. Pada umumnya komponen dari sistem tenaga angin mempunyai dua jenis generator yaitu generator sinkron dan asinkron. Sistem dari generator sinkron terdiri dari *Electrically Excited Generator* dan *Permanent Magnet Generator* (PMG), kemudian untuk sistem dari generator asinkron terdiri dari Generator Induksi dan *Doubly Fed Induction Generator* (DFIG).



Gambar 2.10 Bentuk Fisik Generator [6]

Dari masing-masing jenis dari generator perbedaan yang terlihat ada pada proses *starting* dimana untuk generator sinkron membutuhkan arus pemicu atau arus eksitasi yang pada umumnya dibantu dengan motor DC agar putaran dari rotor dapat sama dengan putaran dari putaran medan stator sehingga terjadi sinkronisasi. Sebaliknya untuk generator asinkron tipe DFIG terdiri dari generator induksi *wound rotor* dan AC/DC/AC IGBT konverter yang dikontrol menggunakan PWM, dimana rangkaian tersebut juga digunakan untuk mengatur arus eksitasi medan pada rotor dan juga mengatur *pitch control system* pada turbin angin. Dengan berkembangnya sistem pada komponen elektronika daya, sistem DFIG WTG lebih populer digunakan karena dari segi biaya lebih menguntungkan dibandingkan dengan sistem dengan generator sinkron.[6]

2.3.2.3 Keuntungan Sistem Angin

1. Sumber energi primer didapat secara bebas, tidak memerlukan biaya dan sifatnya tidak polutif.
2. Meskipun mempertimbangkan tinggi dari tower, luas area yang dibutuhkan untuk membangun turbin angin kecil. Artinya sekeliling dari tower dapat d untuk bercocok tanam, khususnya di daerah pedesaan. [3]

2.3.2.4 Kelemahan Sistem Angin

1. Merupakan sumber energi yang tidak dapat diprediksi, tergantung dari ketersediaan angin dan kecepatan angin memutar turbin, sehingga *output* dayanya menjadi tidak stabil.
2. Turbin angin menimbulkan suara bising (polusi suara). [3]

2.3.3 Generator Diesel

Generator diesel adalah jenis generator pembakaran dalam dengan bahan bakar minyak solar dan pembakaran udara melalui sistem kompresi. Generator diesel disebut juga internal *compression ignition engine*, karena penyalanya dengan cara penekanan udara dan penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Pada generator diesel penyalan terjadi sendiri, karena bahan bakar yang disemprotkan ke dalam silinder yang bertemperatur tinggi dan bertekanan tinggi. [5]

2.3.4 Baterai

Baterai adalah komponen yang digunakan untuk melakukan penyimpanan energi pada sistem kelistrikan mikrogrid. Komponen baterai merupakan komponen yang bersifat utama, karena mengetahui

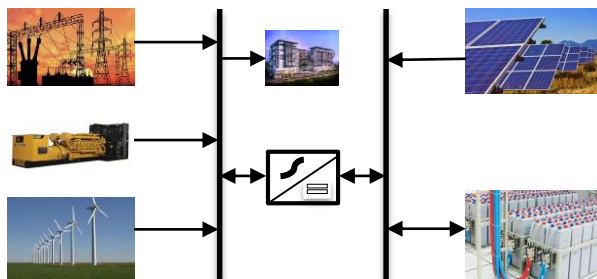
karakteristik dari energi terbarukan sebagai energi primer dari sistem mikrogrid yang berubah-ubah dan tidak tertentu, sangat bergantung dari kondisi cuaca. Maka dari itu baterai digunakan sebagai komponen *back-up* apabila sistem dalam kondisi yang tidak stabil.[5]

2.4 Grid Electric

Grid electric adalah jaringan listrik yang terinterkoneksi dari pembangkit sampai ke beban. *Grid* disini merupakan jaringan listrik yang dimiliki oleh suatu perusahaan listrik yang telah mempunyai wewenang khusus dengan konsumen. Komponen dari *grid* terdiri dari pembangkitan dengan bahan bakar (batubara, gas alam, dll), sistem transmisi, sampai ke sistem distribusi (konsumen). [1]

2.5 Sistem Hibrid Mikrogrid

Sistem hibrid mikrogrid adalah sistem yang mengkombinasikan dua atau lebih energi berbeda dengan rangkaian peralatan konversi energi listrik yang saling terintegrasi untuk saling mengatasi keterbatasan satu sama lain. Energi dari pembangkitan energi listrik dapat memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti, energi panas matahari, energi angin, energi air, atau energi gelombang laut [7]. Sistem hibrid mikrogrid diaktifkan pada sistem untuk mensuplai kebutuhan sistem tenaga listrik dan juga untuk kebutuhan *power quality* dan profil tegangan sistem tenaga listrik yang lebih baik.



Gambar 2.11 Topologi Hibrid Mikrogrid AC/DC

Dari Gambar 2.11, dapat diketahui bahwa sistem hibrid mikrogrid salah satunya dapat terdiri dari komponen yang saling mendukung beroperasinya sistem tersebut, dari beberapa sistem hibrid mikrogrid yang dibahas diantaranya :

1. Modul PV (PV Array) : Serangkaian panel PV yang dirangkai secara seri atau parallel. Output yang diberikan berupa arus DC yang

bergantung dari paparan radiasi sinar matahari yang mengenai komponen tersebut. Posisi dari panel sangat berpengaruh terhadap energi yang dihasilkan dari PV, oleh karena itu penting untuk dilakukan perancangan parameter dan keakuratan posisi dari panel terhadap sinar matahari agar keluaran dapat optimal.

2. Turbin Angin : Komponen yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari energi angin menjadi energi listrik yang diikuti dengan komponen penyusun lainnya untuk sistem turbin angin.
3. Baterai Bank : Komponen yang digunakan untuk tempat penyimpanan energi listrik sistem DC dalam jumlah besar. Pemasangan baterai di pasang secara parallel agar dapat melakukan penyimpanan energi dengan kapasitas yang dapat diperbarui dengan tegangan yang konstan.
4. Kontroler Sistem Hibrid : Komponen yang dirancang untuk mengintegrasikan ketiga komponen pembangkit energi listrik (PV, WTG, Baterai Bank).
5. Diesel Generator : Komponen generator yang digunakan
6. Inverter : Komponen yang digunakan untuk pengkonversian energi dari sistem DC ke sistem AC dengan menggunakan perangkat elektronika daya yang terintegrasi didalam perangkat inverter tersebut.[5]

2.5.1 Keuntungan Sistem Hibrid Mikrogrid

1. Sistem hibrid mempunyai fleksibilitas bahan bakar, efisiensi, keandalan, ekonomis yang tinggi, dan bersifat non-emisi.
2. Peningkatan kualitas sistem tenaga listrik dapat ditingkatkan dengan mengandalkan sistem penyimpanan energi
3. Sistem hibrid dapat dirancang untuk memaksimalkan penggunaan energi terbarukan dan menghasilkan sistem dengan emisi lebih rendah daripada teknologi berbahan bakar fosil tradisional.
4. Sistem hibrid dapat dirancang untuk mencapai rangkaian yang diinginkan dengan biaya terendah yang dapat diterima, yang merupakan kunci untuk penerimaan pasar. [3]

2.6 Intermiten

Intermiten adalah suatu kondisi dimana suatu proses terjadi pada interval yang tidak teratur, tidak secara kontinyu atau stabil [11]. Karakteristik intermiten merupakan suatu proses yang mempunyai siklus terputus-putus, dimana siklus tersebut mempunyai efek yang dapat mempengaruhi kestabilan *power quality* pada sistem. Adapun proses intermiten pada sistem tenaga listrik yang diketahui :

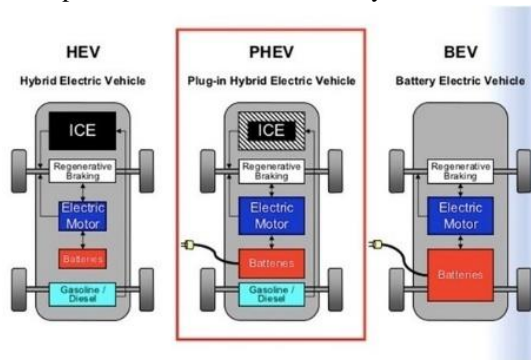
- a. Intermiten Sumber : Proses penyaluran sistem tenaga listrik yang terjadi dengan interval yang tidak teratur (terputus-putus)

diakibatkan karena faktor sistem pembangkitan yang energi primernya bergantung pada kondisi alam sehingga mengakibatkan penyaluran daya tidak stabil. Biasanya terjadi pada pembangkit mikrogrid dengan RES (*Renewable Energy System*) dengan energi primer berupa angin atau matahari. [13]

- b. **Intermiten Beban** : Proses dimana beban menyerap daya listrik dengan fluktuatif, dimana masuknya beban menyerap daya listrik yang besar ke sistem pada interval tertentu dan hilang (terputus) pada saat beban lepas dari sistem. Contoh beban intermiten antara lain : proses *arc welding*, *rock crushers*, proses *charging electric vehicle*, dll.[14]

2.7 Electric Vehicle

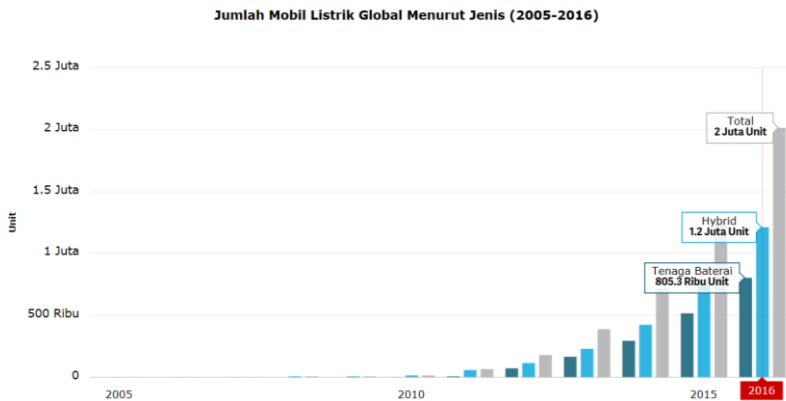
Electric Vehicles (EVs) muncul untuk memainkan peran kunci dalam mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil dan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh sektor transportasi. *Electric Vehicle* adalah kendaraan yang bahan bakar utamanya menggunakan energi listrik yang disimpan pada baterai atau peralatan penyimpanan energi listrik lainnya dan untuk komponen penggeraknya berupa motor listrik. Menurut data, terdapat 3 tipe *Electric Vehicle* diantaranya :



Gambar 2.12 Diagram Bahan Bakar Sistem *Electric Vehicle*

- a. *Hybrid Electric Vehicle* (HEV), HEV didukung menggunakan dua jenis bahan bakar yaitu bensin dan baterai, dimana energi listrik yang disimpan pada baterai dihasilkan dari proses pengereman yang menghasilkan panas atau disebut juga “*regenerative braking*”. Ketika dalam kondisi lambat maka motor listrik akan mendapatkan energi dari baterai namun pada kondisi cepat sistem akan switch sehingga konsumsi bahan bakar beralih ke bensin.

- b. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV), PHEV mempunyai prinsip kerja yang sama dengan HEV hanya saja pada PHEV sudah dilengkapi dengan terminal *charging*, sehingga pengisian baterai tidak hanya dihasilkan dari *regenerative braking* namun juga dapat dilakukan pengisian melalui proses *charging*.
- c. *Battery Electric Vehicle* (BEV), BEV bahan bakar hanya didukung menggunakan baterai dan mempunyai sistem yang sama dengan PHEV dan HEV, namun untuk *storage* pengisian baterainya mempunyai kapasitas yang lebih besar dibanding PHEV dan HEV. Untuk BEV dapat dikatakan lebih ramah lingkungan dibanding PHEV dan HEV karena tidak menggunakan energi bahan bakar fosil.



Gambar 2.13 Grafik Pertumbuhan Mobil Listrik Global 2005-2016

Berdasarkan data diatas dapat diamati bahwa pertumbuhan akan pengguna mobil listrik di dunia mengalami kenaikan yang konsisten setiap tahunnya, dari tahun 2005-2016. Hal ini perlu dilakukan mitigasi lebih lanjut mengenai dampak-dampak yang mungkin terjadi disebabkan karena adanya penetrasi dari mobil listrik, terutama dampaknya pada sistem tenaga listrik.

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai metodologi dan perancangan sistem yang dilakukan dalam melakukan analisa. Metodologi yaitu alur proses melakukan analisa dari permasalahan yang dibahas. Perancangan sistem yaitu berhubungan dengan data-data yang digunakan sebagai bahan acuan untuk melakukan analisa.

4.1 Metodologi dan Flowchart

Proyek ini dibuat dengan model simulasi SLD (*Single Line Diagram*) dengan menggunakan software ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*), dimana beberapa data yang dimasukkan kedalam komponen parameter seperti *Grid Utility*, *Transformer*, *Diesel Generator*, *Wind Turbine Generator (WTG)*, *Photovoltaic (PV)* dan *Battery Storage* disesuaikan dengan SLD yang diambil dari thesis dengan judul "*Hybrid Microgrid and It's Coordination*". Pada proyek ini pembahasan yang diambil dari judul *thesis* tersebut dibedakan pada model beban. Data beban yang diambil berupa beban *Electric Vehicle* dan beban kantor yang disesuaikan dengan referensi dari literatur.

Diasumsikan suatu sistem yang terdapat pada bus AC terdapat beban berupa perkantoran yang disuplai dengan transformator dari *Grid Utility* dengan kapasitas daya yang telah disediakan untuk mencukupi kebutuhan daya untuk beberapa tahun kedepan. Seiring berjalanya waktu pada area perkantoran tersebut diasumsikan telah terfasilitasi dengan fasilitas *electric vehicle charging station*, dimana pada area tersebut akan mulai bermunculan *electric vehicle* yang melakukan kegiatan *charging* pada stasiun pengisian tersebut. Pada saat melakukan pengisian, diasumsikan *electric vehicle* yang melakukan *charging* dilakukan secara bersamaan.

Dari asumsi yang telah dibuat dan parameter yang tersedia, dilakukan *running* simulasi *load flow* (aliran daya) dengan *software* ETAP. Tujuan dari aliran daya yaitu untuk mengetahui arus yang mengalir di tiap-tiap bus baik AC atau DC.

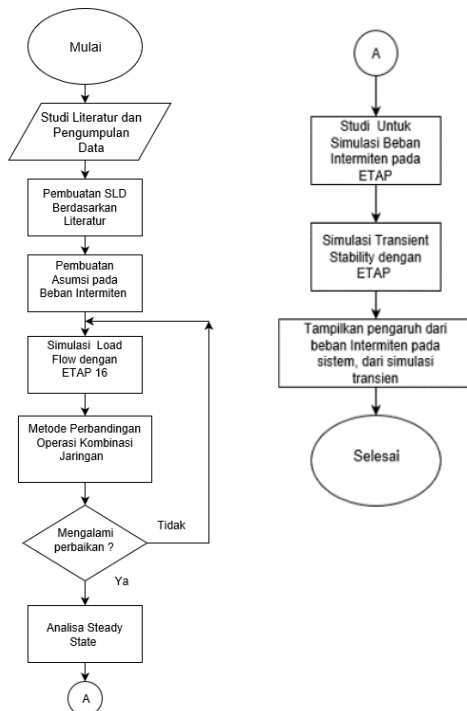
Dari hasil *running* simulasi diketahui beban *electric vehicle* yang melakukan pengisian secara bersamaan dan juga beban kantor yang beroperasi bersamaan akan menimbulkan efek negatif bagi *power quality*, dimana kualitas tegangan menjadi turun akibat adanya kegiatan *charging* yang dilakukan secara bersamaan. Turunnya kualitas tegangan pada sistem

diselesaikan permasalahannya dengan melibatkan sistem mikrogrid kedalam sistem tersebut, sehingga dipilihlah sistem mikrogrid berupa PV, WTG, diesel dan baterai dimana keempat komponen mikrogrid tersebut saling mendukung satu sama lain.

Pengoperasian dari mikrogrid dilakukan dengan cara mengkombinasikan sumber dengan menutup atau membuka rangkaian yang saling terhubung dan melihat hasil aliran daya, tegangan bus, sudut bus dan rugi-rugi yang dihasilkan dari berbagai mode operasi kombinasi sumber. Dari berbagai mode operasi lalu ditentukan koordinasi mikrogrid yang paling optimal untuk melayani beban tersebut.

Selain itu karakteristik dari *charging electric vehicle* merupakan sifat yang intermiten. Sifat intermiten yang ditimbulkan dari *charging electric vehicle* di simulasikan dengan menutup dan membuka CB pada beban *charging electric vehicle* dan melihat dampak yang ditimbulkan dari adanya beban *charging* yang masuk dan lepas pada sistem.

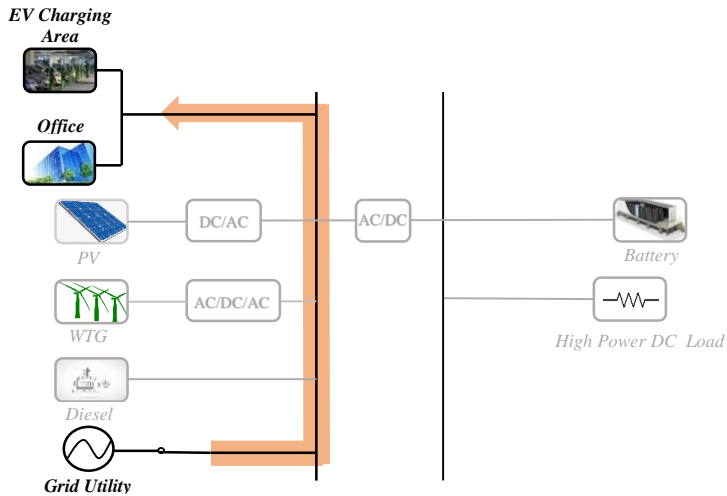
Berikut ini adalah *Flowchart* alur proses analisa yang dilakukan dalam mengerjakan proyek :



Gambar 3.1 *Flowchart* Alur Pengerjaan

4.2 Perancangan Sistem

4.2.1 Sistem Grid Utility



Gambar 3. 2 Topologi Sistem *Grid Utility*

Sistem *grid utility* yaitu dimana beban yang terpasang disuplai hanya dengan *grid* atau perusahaan penyedia layanan listrik pada daerah tersebut. Pada proyek ini diasumsikan beban yang disuplai adalah beban perkantoran dengan dominasi beban pada AC unit, sehingga beban dimodelkan dengan *lumped load* sedangkan untuk beban *charging electric vehicle* dimodelkan dengan *static load*. Berikut ini adalah data yang digunakan pada saat melakukan *running* sistem *grid utility* dari mulai *grid* hingga ke beban :

Tabel 3. 1 Data Rating Peralatan Saat Mode Operasi *Grid Utility* dan Beban

1	Grid		
	Type	Swing	
	Voltage	35 kV	
	MVA _{Sc}	15 MVA _{Sc}	
	X/R	8	
2	Transformer		
	ID	TR-1	TR-2
	Prim/Sec (kV)	35/0.48	0.48/0.208

	Power (MVA)	1	0.5
	Type	Liquid-Fill	Liquid-Fill
	Sub Type	Mineral Oil	Mineral Oil
	Class	OA/FA	OA
	Temp. Rise	55/65	65
	Impedance	Typical	Typical
3	Cable		
	ID	Cab1-TR-1-S	Cab1-TR-2-P
	Length (km)	2	0.1
	Diameter (mm2)	400	400
	Library (No.)	484	427
4	Load		
	ID	Office	EV_Charging
	Type	Conventional	-
	Daya (MVA)	0.345	7.2 x 20
	% PF	90	100
	Load Type (kVA / Z)	70/30	-

4.2.2 Sistem Mikrogrid

Sistem ini terdiri dari jaringan kelas kecil yang energi primernya bersumber dari energi baru terbarukan seperti energi matahari dan angin. Komponen diesel generator dan baterai digunakan untuk *back-up* dimana sistem dari PV dan WTG tidak dapat stabil dalam menyalurkan daya dikarenakan bergantung pada kondisi cuaca dan juga sekaligus dibutuhkan sebagai komponen perbaikan *power quality*.

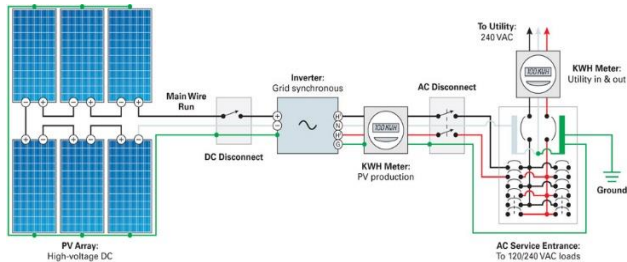
4.2.2.1 Sistem Photovoltaic

Desain PV yang dibahas pada proyek ini yaitu menggunakan sistem *grid tie*. *Grid tie* yaitu dimana sistem PV dikoordinasikan dengan *Grid Utility* untuk mensuplai daya ke beban. Sistem *grid tie* yang akan dibahas melingkupi :

4.2.2.1.1 Sistem PV Grid Tie Tanpa Baterai

Rangkaian dari sistem ini yaitu dari komponen PV terhubung ke *DC disconnect* dan kemudian terhubung ke inverter. *Output* dari inverter terhubung ke *AC disconnect* yang kemudian daya *output* dari sistem PV di distribusikan pada bus AC. Sistem

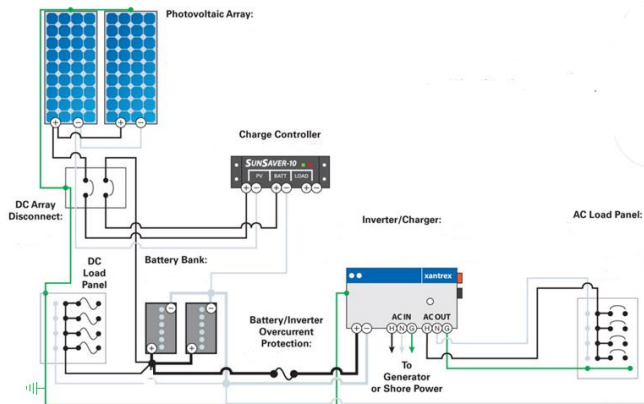
ini tidak menggunakan baterai sebagai media penyimpanan dari daya output PV dan juga *back-up* sistem. Untuk lebih jelasnya dapat digambarkan pada gambar berikut :



Gambar 3. 3 Sistem PV *Grid Tie* Tanpa Baterai

4.2.2.1.2 Sistem PV *Grid Tie* dengan Baterai

Rangkaian dari sistem ini sama dengan rangkaian *grid tie* tanpa baterai namun, bedanya hanya pada sistem ini sudah dilengkapi dengan sistem *battery storage* sebagai media penyimpanan daya keluaran dari PV dan juga *Grid Utility*. Dimana baterai akan beroperasi ketika sistem PV tidak mengeluarkan daya, dikarenakan tergantungnya sistem PV pada kondisi cuaca. Untuk lebih jelasnya gambaran sistem digambarkan pada gambar berikut :



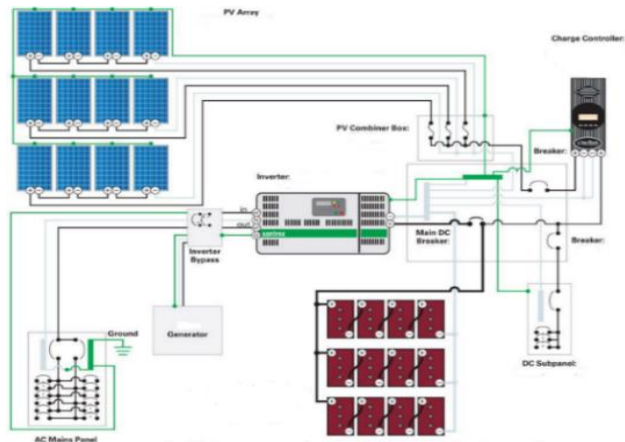
Gambar 3. 4 Sistem PV *Grid Tie* dengan Baterai

Inverter dapat menyediakan utilitas listrik dengan kelebihan daya yang dihasilkan oleh sistem seperti inverter "grid-

tie", ditambah inverter bekerja dengan modul PV dan baterai bank untuk menyediakan daya ke bus AC cadangan saat grid mati.

4.2.2.1.3 Stand Alone

Sistem *stand alone* yaitu dimana sistem PV berdiri sendiri dengan menggabungkan sejumlah besar baterai sebagai media penyimpanan untuk menyalurkan daya ke beban berturut-turut bahkan saat tidak tersedia matahari. Sistem ini harus cukup besar untuk mengambil alih semua kebutuhan beban dan harus andal dalam pengoperasiannya. Dalam pengoperasian *stand alone* dari PV dengan baterai sebagai *back-up* sebaiknya mempertimbangkan peran dari mikrogrid dengan sumber lain yang cocok dipadukan dengan sistem PV, contoh sistem tenaga angin. Untuk lebih jelasnya gambaran sistem digambarkan pada gambar berikut :



Gambar 3. 5 Sistem PV *Stand alone*

Dari ketiga sistem PV yang telah dibahas didapatkan data yang sesuai dengan referensi untuk simulasi sistem PV tersebut. Berikut ini adalah data yang digunakan untuk melakukan simulasi ETAP pada sistem PV :

Tabel 3. 2 Data *Rating* Sistem PV dan Inverter

1	Photovoltaic Array	
	Library	Manufacturer : Sharp Model : NU-180FC Size : 180
	PV Panel	Watt/Panel : 180.1 In Series : 13 Of Parallel : 13
2	Inverter	
	Type	Voltage Control
	DC Rating	Pout : 30 kW Vdc : 300 V
	AC Rating	S : 27 kVA Vac : 480 V % PF : 90
	Loading	Design : 100%
	Generation	Design : 20 kW 97%

4.2.2.2 Sistem Wind Turbine Generator

Sistem Wind Turbine Generator (WTG) ini digunakan sebagai peran mikrogrid tambahan disamping PV. Pada perancangan sistem WTG sama halnya dengan PV, yaitu membahas mengenai sistem *grid tie* dengan baterai dan tanpa baterai.

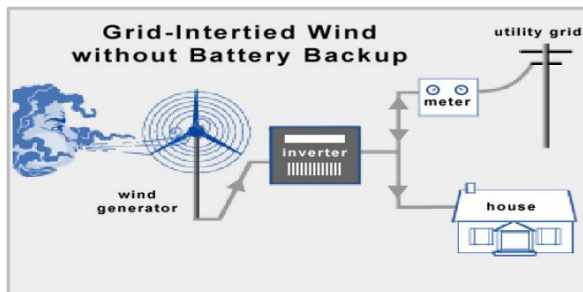
4.2.2.2.1 Sistem WTG *Grid Tie* tanpa Baterai

Sistem energi angin terhubung ke *Grid Utility* tanpa cadangan baterai bank, sehingga sistem WTG tidak bisa diandalkan secara penuh atau hanya saat tertentu diandalkan dikarenakan faktor WTG yang bergantung pada ketersediaan angin. Pada sistem ini peran dari *Grid Utility* tetap utama, sedangkan untuk listrik yang dihasilkan dari sistem *grid tie* WTG tanpa baterai ini dioperasikan untuk pengoptimalan dan efisiensi sistem, dimana pada sistem ini terjadi pembagian aliran daya ke

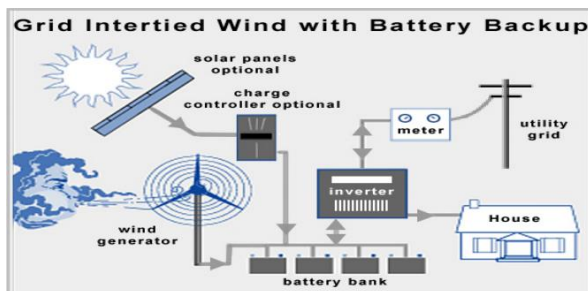
beban dari masing-masing sumber sehingga aliran daya dari *Grid Utility* berkurang. Untuk sistem grid tie WTG tanpa baterai lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah.

4.2.2.2.2 Sistem WTG *Grid Tie* dengan Baterai

Sistem energi angin terhubung ke *Grid Utility* dengan menggunakan cadangan *baterai bank*. Pada sistem ini pengisian baterai bank melalui aliran daya dari sumber *Grid Utility* dan disaat ketersediaan energi angin yang memutar WTG terpenuhi. Pengisian pada baterai bank tersebut dapat meningkatkan keandalan dari sistem disaat ketersediaan energi angin tidak mencukupi WTG untuk mensuplai daya dan mungkin terjadi gangguan pada *Grid Utility* yang menyebabkan pemadaman pada sistem. Baterai tetap bisa diandalkan untuk mengambil alih sistem untuk beberapa saat hingga sumber dapat beroperasi kembali. Untuk lebih jelasnya gambaran sistem grid tie dengan baterai dapat dilihat pada Gambar 3.6 dibawah.



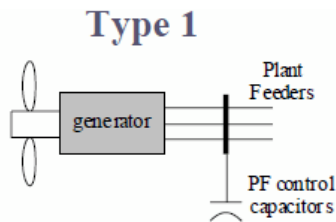
Gambar 3. 6 Sistem *Grid Tie* WTG Tanpa Baterai [3]



Gambar 3. 7 Sistem *Grid Tie* WTG dengan Baterai [3]

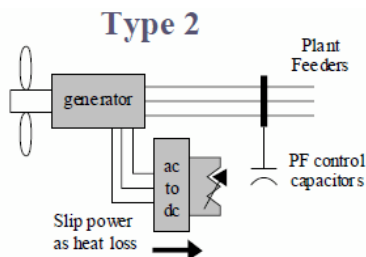
Dari kedua sistem WTG diatas telah dibahas mengenai macam-macam sistem *grid tie* WTG. Pada *software* ETAP, WTG yang akan disimulasikan mempunyai 4 tipe yang berbeda, yaitu tipe 1, tipe 2, tipe 3, dan tipe 4. Dari ke empat tipe WTG mempunyai skema topologi operasi yang berbeda. Berikut penjelasan dari ke empat tipe WTG yang disebutkan :

- a. Topologi pertama disebut sebagai Tipe 1 WTG. Mesin dari WTG diatur oleh *pitch control*, untuk menggerakan generator induksi *squirrel cage* yang secara langsung dikoordinasikan dengan *Grid Utility*.



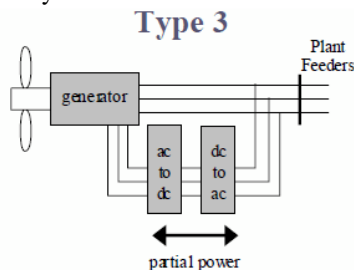
Gambar 3. 8 Skema Pemasangan WTG Tipe 1 [5]

- b. Topologi kedua disebut sebagai Tipe 2 WTG. Tipe 2 WTG adalah variasi dari tipe 1, dimana sistem WTG beroperasi dengan slip variabel. WTG ini di susun dengan menggunakan generator induksi wound rotor dimana daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh slip ring dan sistem eksitasinya. Pada WTG tipe 2 terdapat hambatan rotor eksternal yang dimodulasi secara elektronik yang berfungsi untuk menghasilkan perubahan dinamis pada torsi dan kecepatan.



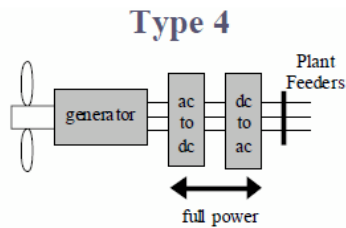
Gambar 3. 9 Skema Pemasangan WTG Tipe 2 [5]

- c. Topologi ketiga disebut sebagai Tipe 3 WTG. Pada tipe ini WTG diatur oleh pitch control. Mesin yang digunakan yaitu menggunakan generator induksi *wound rotor* yang didalam generator tersebut terdapat komponen elektronika daya yang mengkonversi AC/DC/AC yang terhubung antara terminal rotor dengan *grid*. Tipe generator dari tipe 3 WTG ini disebut juga DFIG (*Doubly Fed Induction Generator*) atau generator induksi masukan ganda, karena pada komponen internal dari WTG ini terdapat dua buah inverter yang menghubungkan antara grid (output generator) dengan rotor. Inverter yang terhubung dengan jaringan bekerja pada frekuensi yang sama dengan frekuensi jaringan. Inverter ini juga mengatur besar faktor daya yang masuk agar sesuai dengan besar daya reaktif yang dibutuhkan oleh generator. Sedangkan inverter yang terhubung dengan rotor bekerja pada frekuensi yang sesuai dengan frekuensi putaran generator. Dengan menggunakan konfigurasi seperti ini, besar arus yang mengalir pada rotor dapat di atur sesuai dengan daya yang akan dibangkitkan. Keuntungan dari DFIG diantaranya adalah tegangan dan frekuensi yang dihasilkan dapat tetap besarnya walaupun kecepatan putarnya berubah- ubah.



Gambar 3. 10 Skema Pemasangan WTG Tipe 3 [5]

- d. Topologi keempat disebut sebagai tipe 4 WTG. Pada tipe ini sistem kontrol diatur oleh pitch control yang dilengkapi dengan konverter daya AC/DC/AC. Jadi untuk sistem kontrol tipe 4 WTG ini memiliki sistem yang hampir sama dengan tipe 3 WTG, namun pada tipe 4 WTG rangkaian konverter daya diseri pada jaringan atau output generator. Generator yang digunakan pada WTG tipe 4 ini dapat berupa tipe induksi atau sinkron.



Gambar 3. 11 Skema Pemasangan WTG Tipe 4 [5]

Dari beberapa sistem dan skema rangkaian dari masing-masing tipe WTG diatas yang telah dibahas, berikut merupakan tabel data yang digunakan untuk melakukan simulasi :

Tabel 3. 3 Data Rating Sistem WTG dan Kabel

1	Wind Turbine Generator	
	Type	3 : Voltage Control
	Tegangan	0.48 kV
	Daya	80 kW
	Generation	55 %
	Efisiensi	80 %
	Qmax	75
	Qmin	-80
	Impedance	LRC : 600 PF : 28.93 Xo : 20 X/R : 8.067 X2 : 20 Td' : 0.2
	Inertia Calculator	Gear : RPM = 1500 Generator : H = 1.25
	Model	Sample Data
	Ramp Wind	Sample Data
2	Cable	
	Rating	Cab 1- WTG
	Length (km)	1
	Diameter (mm²)	240
	Library (No.)	435

4.2.2.3 Sistem Back Up Mikrogrid

Sistem *back up* mikrogrid yaitu suatu *power resources* (sumber daya listrik) kelas kecil yang digunakan sebagai cadangan disaat sistem mikrogrid yang beroperasi mengalami penurunan *power quality*, baik tegangan, dan kebutuhan daya. Komponen sistem back up dari mikrogrid harus memiliki kemampuan untuk mengambil alih sistem secara cepat agar kontinuitas pelayanan tetap terjaga. Komponen sistem *back up* dari mikrogrid yang akan dibahas diantaranya :

4.2.2.3.1 Diesel Generator

Diesel generator mampu melakukan proses starting dalam hanya hitungan detik untuk memasok daya ke beban. Hal ini dapat melindungi beban dari pemadaman jangka panjang yang disebabkan karena berbagai macam faktor gangguan. Diesel generator disini digunakan pada prioritas terakhir dimana apabila pengoperasian sistem masih pada nilai kualitas daya yang dibawah batas standar. Namun pada kenyataanya penggunaan dari diesel generator tidak terlalu disarankan karena membutuhkan biaya operasional yang cukup mahal untuk bahan bakarnya. Berikut parameter data dari komponen diesel generator beserta konduktor yang digunakan :

Tabel 3. 4 Data Rating Diesel Generator dan Kabel

1	Diesel Generator	
	Type	Voltage Control
	Tegangan	0.48 kV
	Daya	120 kW
	%PF	85
	Inertia	RPM : 1500 H : 1.53
	Efisiensi	95 %
	Impedance	Typical Data
2	Cable	
	Rating	Cab-Diesel-Gen
	Length (km)	1
	Diameter (mm²)	240
	Library (No.)	435

4.2.2.3.2 Baterai Bank

Baterai bank digunakan sebagai komponen penyimpanan daya dengan jumlah besar. Kapasitas yang dimiliki baterai harus mencukupi untuk melakukan *back-up* sistem apabila sistem mengalami gangguan atau penurunan *power quality*. Jadi penggunaan baterai pada sistem digunakan pada prioritas dimana PV dan WTG mikrogrid telah beroperasi untuk mensuplai beban. Apabila beroperasinya PV dan WTG terjadi permasalahan yang menyebabkan penurunan *power quality* pada sistem, maka baterai dapat dioperasikan. Berikut ini adalah data parameter baterai yang digunakan pada simulasi :

Tabel 3. 5 Data Rating Baterai dan Inverter

1	Battery Energy Storage System				
	ID	Battery Storage 1		Battery Storage 2	
	Library	Manu	C&D Tech	Manu	JC Dynasty
		Model	KCR	Model	JMC
		Cap	495 Ah	Cap	285 Ah
		No.	5	No.	1
	Rating	Cell	150	Cell	150
2	Inverter				
	Type	Voltage Control			
	DC Rating	Pout	: 30 kW		
		Vdc	: 300 V		
	AC Rating	S	: 27 kVA		
		Vac	: 480 V		
		% PF	: 90		

4.2.3 Sistem Hibrid AC/DC Mikrogrid

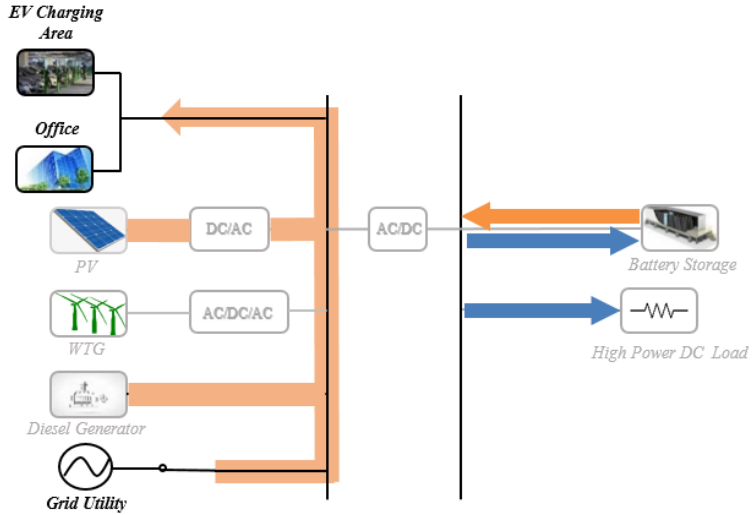
Pada pembahasan sebelumnya telah dibahas mengenai macam-macam peralatan dari mikrogrid baik AC maupun DC. Jadi untuk sistem hibrid AC/DC mengkombinasikan dari komponen AC dan DC agar pada saat sistem utama AC terkendala maka sistem DC harus menjadi cadangan dari sistem utama tersebut. Berikut ini

merupakan pengelompokan komponen sistem AC dan DC yang akan dibahas :

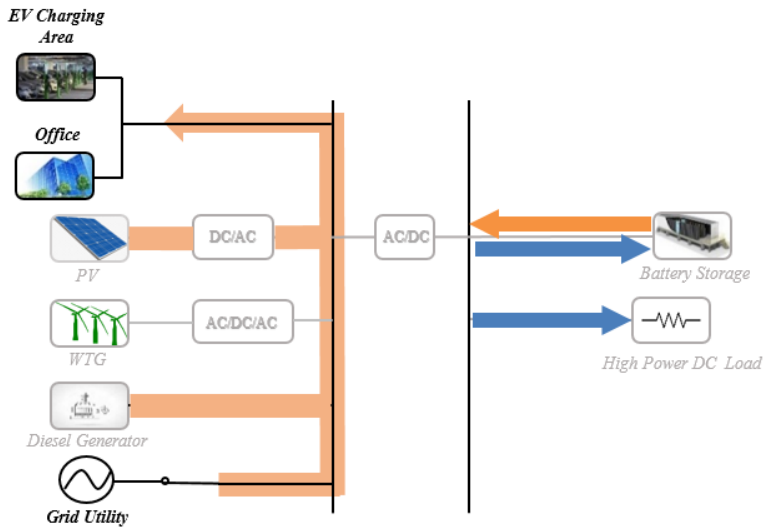
Tabel 3. 6 Data Komponen Sistem AC dan DC

No	Komponen AC	ID	Komponen DC	ID
1	Power Grid	Grid Utility	PV Array	PV_MG1
2	Transformator	TR-1	Cable	Cab-DC Load
		TR-2		
3	Lump Load	Office		
4	Static Load	Charging EV		
5	Cable	Cab-TR-1S	Inverter	Inv1-PV
		Cab-Diesel-Gen		Inv2-BS
		Cab1-WTG		
		Cab1-TR-2-P		
		Cab-Diesel-WTG		
		Cab-Cont Load		
		Cab-Inter Load		
6	Diesel Generator	Diesel-Gen_MG3	Baterai	Battery Storage 1
7	Wind Turbine Generator	WTG_MG2		Battery Storage 2

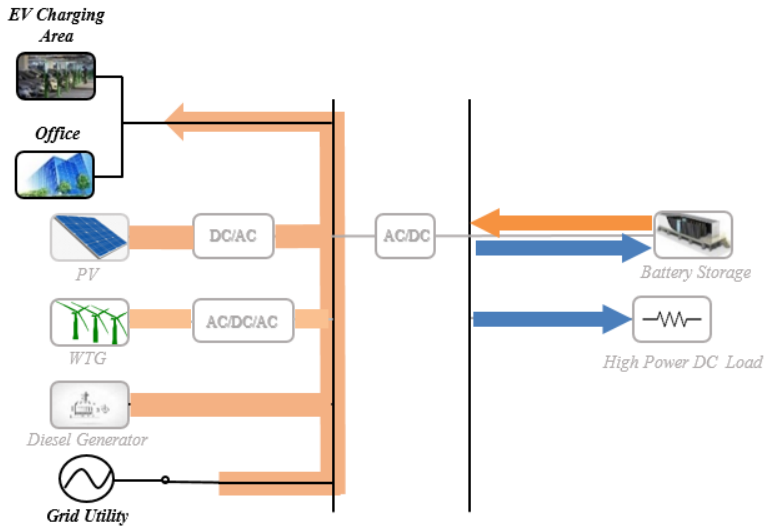
Dari data diatas sistem komponen AC dan DC mulai dari *power grid*, sumber energi (*power resources*) lain hingga komponen pendukungnya memiliki masing-masing fungsinya sendiri seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Jadi dari tabel diatas digambarkan SLD keseluruhan yang akan dibahas pada analisa terkait dengan operasi sistem hibrid AC/DC mikrogrid. SLD yang digambarkan pada gambar tersebut, simulasinya dibuat beberapa skenario seperti yang telah dijelaskan sebelumnya terkait dengan model beban yang bersifat intermiten. Berikut beberapa mode topologi operasi hibrid AC/DC mikrogrid yang akan dibahas :



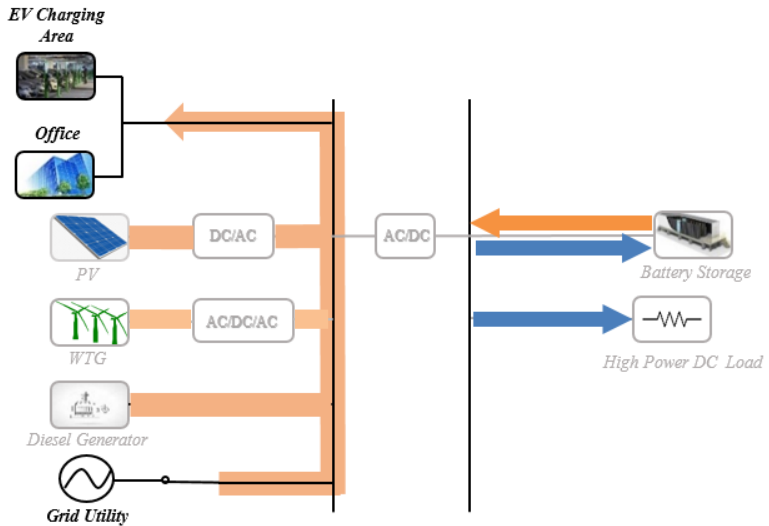
Gambar 3. 12 Mode operasi AC/DC mikrogrid WTG 0 m/s dan PV Irradiance 1000 W/m² dengan grid utility



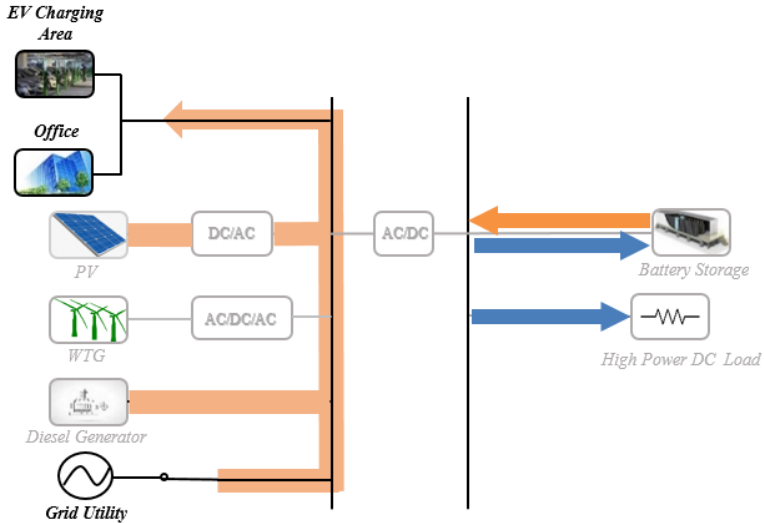
Gambar 3. 13 Mode operasi AC/DC mikrogrid WTG 3 m/s dan PV Irradiance 900 W/m² dengan grid utility



Gambar 3. 14 Mode operasi AC/DC mikrogrid WTG 5 m/s dan PV Irradiance 800 W/m² dengan *grid utility*



Gambar 3. 15 Mode operasi AC/DC mikrogrid WTG 10 m/s dan PV Irradiance 700 W/m² dengan *grid utility*



Gambar 3. 16 Mode operasi AC/DC mikrogrid WTG 12 m/s dan PV Irradiance 600 W/m² dengan *grid utility*

Dari penjelasan kedua tipe pengelompokan beban diatas, berikut komponen yang akan dibahas untuk analisa sebagai beban :

4.2.4.1 Beban Kantor

Beban kantor merupakan jenis beban tipe *lumped load*, karena pada beban kantor diasumsikan dominasi beban yaitu berupa unit AC, sehingga untuk beban kantor sebagian besar beban didominasi pada pengoperasian motor pada AC unit. Kemudian di asumsikan dalam satu ruangan terdapat 2 unit AC kantor dengan daya 2 PK/unit, maka beban yang ditanggung ketika AC beroperasi dapat mencapai 60% ditambah dengan beban pompa air dan motor listrik lain diasumsikan 10% pada gedung kantor tersebut. Kemudian sisa beban sebesar 30 % diasumsikan sebagai beban statis seperti lampu, pemanas, peralatan elektronik TV, dll. Dari asumsi yang didapat maka beban kantor yang dimasukkan sebagai data pada analisa yaitu perusahaan telekomunikasi dengan beban *lumped load* diasumsikan seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 3. 7 Data Beban Kantor Pada Simulasi *Lumped Load*

<i>Lumped Load</i>	
ID	Office
Type	Conventional
Daya (MVA)	0.345
% PF	85
Load Type (Motor Load/Static Load)	70% / 30%

4.2.4.2 Beban Charging *Electric Vehicle*

Beban *Electric Vehicle* pada saat melakukan *charging* menjadi topik dalam pembahasan analisa beban intermiten ini. Diketahui bahwa *Electric Vehicle* yang melakukan *charging* di stasiun pengisian memiliki dampak yang cukup berpengaruh pada *power quality* sistem, terlebih dengan munculnya penetrasi *Electric Vehicle* secara besar-besaran setiap tahunnya. Hal tersebut menimbulkan pemikiran untuk merancang sebuah sistem dengan berbagai asumsi. Jadi pada analisa proyek ini, beban *Electric Vehicle* tipe BEV (*Battery Electric Vehicle*) yang melakukan *charging* ini diasumsikan berada pada area perkantoran, dimana pada area tersebut telah terpasang beberapa stasiun pengisian. Berikut adalah data spesifikasi dari *Electric Vehicle* dan juga data stasiun pengisian yang akan dibahas :

Tabel 3. 8 Data Spesifikasi *Electric Vehicle* dan *Charging Station*

<i>Electric Vehicle</i>	
Manufacturer	Nissan
Brand	Nissan Leaf
Year	2016
Electric Motor	80 kW (110 HP)
Torque	280 N.m
Battery	30 kWh (<i>Lithium-Ion Battery</i>)
Plug-in Charging	6.6 kW output 240/208 VAC SAE J1772
Range	172 km (107 miles) std. EPA dengan baterai 30 kWh
<i>Charging Station</i>	
Manufacturer	Blink
Input Voltage	208 VAC - 240 VAC $\pm 10\%$
Output Voltage	208 VAC - 240 VAC $\pm 10\%$
Frequency	50/60 Hz
Input Current	30 A (Max), 12A, 16A, 24A available
Breaker Size	40 A; settings at 15 A/20A/30A available

Output Phase	Single
Pilot	SAE J1772 - Compliant
Connector/Cable	SAE J1772 – Compliant ; UL-rated at 30A (max)
Temp	-22°F (-30 °C) to 122°F (50 °C)
Standard	NEC 625, SAE J1772 - Compliant

Dari data diatas diasumsikan bahwa terdapat 20 unit *Electric Vehicle* yang melakukan *charging* dan *discharging* pada kondisi tidak tentu pada area perkantoran, dengan spesifikasi *Electric Vehicle* dan unit *Charging Station* seperti pada tabel diatas. Oleh karena itu pembahasan dari *charging electric vehicle* lebih ditekankan pada fenomena masuk dan lepasnya beban *charging* pada sistem dengan jumlah 20 unit *Charging Station* pada area kantor tersebut.

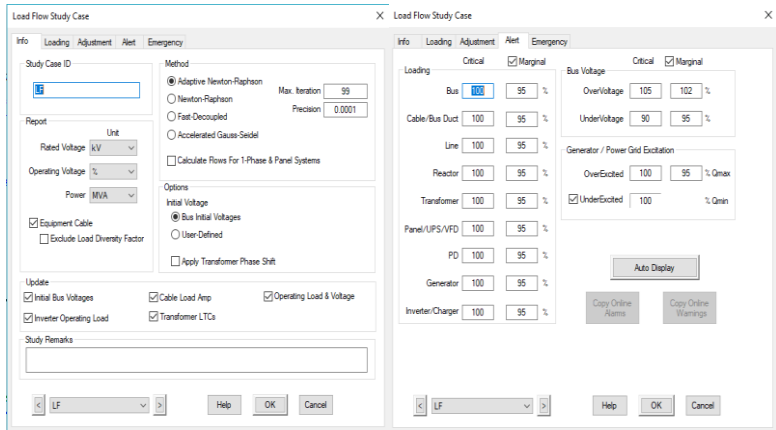
4.3 Metode Analisa

Metode analisa merupakan cara pendekatan yang dilakukan untuk melakukan penelitian terhadap topik penelitian. Pada penelitian ini akan dibahas beberapa metode analisa yang berhubungan dengan topik penelitian yang dibahas yaitu :

4.3.1 Analisa Load Flow

Analisa *load flow* disebut juga dengan analisa aliran daya. Analisa aliran daya merupakan analisa yang paling utama digunakan untuk mengetahui besar tegangan (V), sudut tegangan (δ), daya nyata (P) & daya reaktif (Q) pada tiap-tiap bus. Bus dikategorikan sebagai bus *Swing*, bus generator dan bus beban untuk analisis aliran daya. Bus *Swing* merupakan bus yang terhubung dari sumber power grid, bus generator yaitu bus yang terhubung dari generator dan bus beban adalah bus yang terhubung ke beban. Semua parameter listrik lainnya (misalnya arus, faktor daya, daya semu) untuk seluruh sistem kelistrikan dapat dihitung berdasarkan empat parameter ini (V, δ , P & Q) dan impedansi antara bus (Z_{ij}).

Pada studi case aliran daya yang digunakan untuk simulasi pada ETAP, diperlukan *setting* sebelum melakukan analisa. Berikut *setting* load flow pada simulasi ETAP yang di gunakan pada *study case load flow analysis*.



Gambar 3. 17 Load Flow Analysis Study case pada ETAP

Dari gambar diatas digunakan metode *load flow* menggunakan *Adaptive-Newton Raphson* dengan *default iteration* 99 dan *precision* 0.0001. Dari gambar diatas juga dapat dilihat bahwa terdapat beberapa kondisi dimana kondisi tersebut digunakan sebagai batasan peringatan (*alert*) untuk melakukan perbaikan pada simulasi yaitu :

- Kondisi *Critical*, dimana batasan dari pengoperasian sistem, sudah melampaui presentase standar atau melebihi batas spesifikasi dari elemen sistem. Kondisi critical pada simulasi ETAP akan ditampilkan dengan warna merah pada elemen-elemen yang bermasalah.
- Kondisi *Marginal*, dimana batasan dari pengoperasian sistem, hampir melampaui presentase standar atau mendekati ambang batas spesifikasi dari elemen sistem. Kondisi critical pada simulasi ETAP akan ditampilkan dengan warna merah muda pada elemen-elemen yang bermasalah.

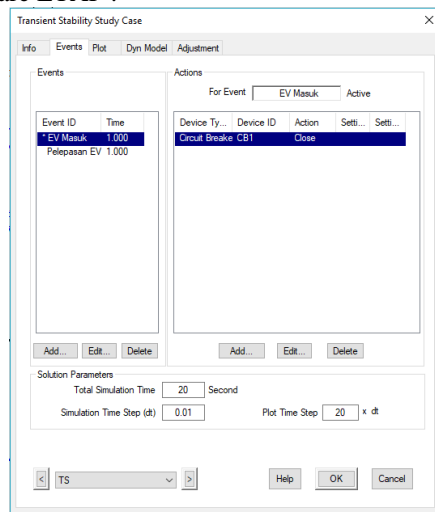
Jadi, sebelum melakukan analisa lainnya, peran dari metode analisa aliran daya sangat penting kegunaanya untuk studi sistem koordinasi pengaman, stabilitas, atau studi kasus lainnya pada sistem tenaga listrik.

4.3.2 Analisa Transient Stability

Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan dari sistem untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami suatu gangguan. Kestabilan transien adalah kemampuan untuk mencapai

titik keseimbangan atau sinkronisasi setelah mengalami gangguan yang besar seperti hubung singkat, hubung terbuka atau *loss of synchronism* dari generator. Contoh gangguan transien misalnya berupa perubahan beban yang mendadak, terputusnya unit pembangkit, perubahan pada jaringan transmisi misalnya gangguan hubung singkat atau pemutusan saklar (*switching*). Analisis stabilitas transien penting untuk mewujudkan jaringan tenaga listrik yang ekonomis, andal, dan aman dalam hal perencanaan, desain, dan operasi. Studi stabilitas sementara menyelidiki perubahan dalam kecepatan putaran sesaat peralatan, yang merupakan fungsi dari inertiannya.

Pada analisa beban *charging electric vehicle* ini digunakan analisa transien *stability* untuk mensimulasikan proses masuk dan lepasnya beban dengan membuka dan menutup *circuit breaker* (CB) pada saat sistem beroperasi. Berikut *setting study case* pada analisa transien pada software ETAP :



Gambar 3. 18 *Transient Stability Analysis Study case* pada ETAP

Dari gambar diatas dapat dilihat *settingevent* pada case transien di set pada waktu 0.2 detik pelepasan beban charging EV dengan membuka CB dan di set pada detik 0.6 detik untuk masuknya beban EV dengan menutup CB. Total simulasi yang dijalankan untuk melakukan analisa transien selama 20s, yang artinya pengamatan akibat pelepasan beban dan masuknya beban dapat di amati dalam jangka waktu 20s pada hasil pengamatan gelombang transien.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB IV

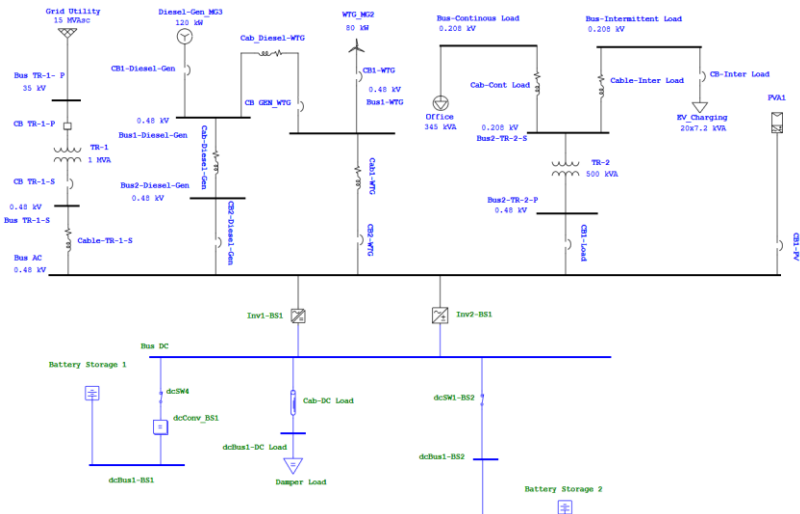
ANALISIS DAN PERENCANAAN

4.1 Analisa Steady State Aliran Daya

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya analisa aliran daya digunakan untuk mengetahui besar tegangan (V), sudut tegangan (δ), daya nyata (P) & daya reaktif (Q) pada tiap-tiap bus untuk memberikan kemudahan dalam membandingkan hasil penelitian berbagai kasus operasi jaringan dengan kombinasi yang berbeda dari sumber mikrogrid dan *grid utility* yang disimulasikan dalam software ETAP. Jadi pada sistem ini bus AC dan bus DC saling terhubung, dimana pada bus AC terdapat WTG (*Wind Turbine Generator*) dan PV (*Photovoltaic*) yang dirangkai dengan inverter, yang keduanya merupakan sumber mikrogrid dengan sumber energi terbarukan. Dan untuk sistem cadangan di sisi AC dari sistem ini digunakan diesel generator, yang berfungsi sebagai back-up sistem dan menjaga kualitas daya pada sistem pada saat beroperasi.

Pada sisi DC juga digunakan sistem cadangan sebagai sumber daya untuk permintaan beban tambahan dan juga mempunyai peran yang sama dengan diesel generator. Namun, untuk baterai lebih sebagai komponen kebutuhan utama dari sistem mikrogrid karena sifat intermiten yang dimiliki oleh EBT sebagai sumber mikrogrid tersebut. Rangkaian dari baterai di rangkai dengan inverter untuk menghubungkan antara bus AC dan DC yang juga berfungsi sebagai transfer daya antar bus AC dan DC. Transfer daya digunakan untuk menaikkan efisiensi sistem yaitu dari baterai ke bus AC maupun dari bus AC *charging* ke baterai, dimana pada saat sumber mikrogrid tidak mampu mensuplai secara optimal, baterai berperan sebagai cadangan, namun ketika terdapat daya lebih yang digunakan mensuplai beban maka baterai dapat menyimpan energi yang ada sebagai suplai daya cadangan.

Pada rangkaian simulasi terdiri dari 3 jenis bus AC (*bus swing*, *bus generator* dan *bus load*) dan 2 bus DC (*bus load* dan *bus baterai*) keduanya berkoordinasi untuk saling memenuhi pasokan beban yang masuk ke sistem. Dan keduanya juga berfungsi agar dalam pengoperasiannya, sistem dapat tetap menjaga kualitas daya daripada sistem pada saat beroperasi. Berikut ini merupakan SLD dari sistem hibrid mikrogrid AC/DC yang dianalisa :



Gambar 4. 1 Simulasi ETAP Single Line Diagram Mikrogrid AC/DC

Analisa *steady state* yang dilakukan pada sistem pada saat kondisi operasi dari mikrogrid paralel dengan *grid utility*

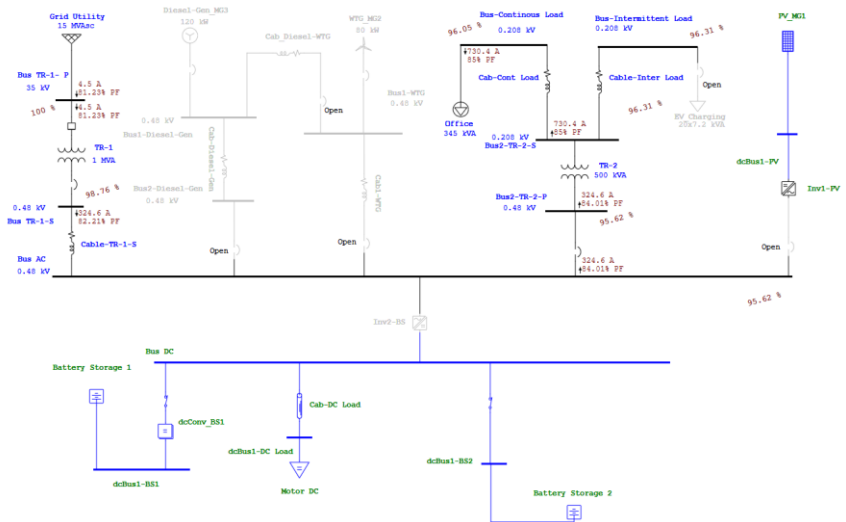
4.1.1 Mode Terhubung *Grid Utility*

Pada mode terhubung *grid utility* disimulasikan dalam beberapa case diantaranya :

1. *Grid Utility* mensuplai daya pada saat beban kantor beroperasi biasa, tanpa ada penetrasi *charging electric vehicle*.
2. *Grid Utility* mensuplai daya pada saat beban kantor beroperasi, ditambah dengan adanya penetrasi *charging electric vehicle* pada area kantor.
3. *Grid Utility* mensuplai daya bersamaan dengan sumber-sumber mikrogrid pada saat beban beroperasi, ditambah dengan adanya penetrasi *charging electric vehicle* pada area kantor.

Berikut adalah analisa simulasi *steady state* yang digambarkan dengan simulasi *load flow* pada jaringan :

4.1.1.1 Mode Operasi 1



Gambar 4. 2 Simulasi ETAP Mode Operasi 1

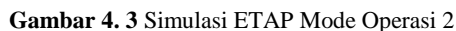
Pada *case* awal kontrak beban kantor sebesar 500 kVA yang disuplai dari *grid utility* dan untuk sumber mikrogrid lain diasumsikan *off* (tidak mensuplai beban). Untuk pertumbuhan beban *charging electric vehicle* pada simulasi diatas belum dipertimbangkan ke dalam simulasi. Dari analisa *load flow* didapatkan *report* hasil *running* dari simulasi *case* awal sebagai berikut :

Tabel 4. 1 *Load Flow Report* Mode Operasi 1

Bus	Tegangan		Load Flow			
ID	kV	%	kW	kVAR	Amp	%PF
Bus TR-1-P	35	100	220	158	4.5	81.23
Bus TR-1-S	0.48	98.76	219.2	157.4	325.3	82.21
Bus AC	0.48	95.62	216.8	140	324.6	84.01
Bus 2-TR-2-P	0.48	95.62	216.8	140	324.6	84.01
Bus 2-TR-2-S	0.208	96.31	215.4	133.5	730.4	85
Bus-Cont Load	0.208	96.05	215.4	133.5	730.4	85
Bus-Inter Load	0.208	96.31	0	0	0	0

Dari tabel diatas dapat diketahui tegangan pada tiap-tiap bus memiliki presentase yang baik, begitu juga pada kualitas daya pada sistemnya, yang ditunjukan pada nilai PF diatas 80% dan juga pada profil

4.1.1.2 Mode Operasi 2



Gambar 4. 4 *Alert View ETAP Mode Operasi 2*

Pada case kedua beban tetap disuplai dari *grid utility* dengan kondisi penambahan beban dari penetrasi *charging electric vehicle* mulai di masukan kedalam asumsi. Asumsi yang dimasukan untuk beban penetrasi *charging electric vehicle* sejumlah 20 unit pada area kantor. Berikut hasil *report* dari analisa *load flow* pada mode operasi 2 :

Tabel 4.1 *Load Flow Report* Mode Operasi 2

ID	Tegangan		Load Flow			
	kV	%	kW	kVAR	Amp	%PF
Bus TR-1-P	35	100	335	237	6.8	79
Bus TR-1-S	0.48	98.03	335	236	494.6	80.62
Bus AC	0.48	93.16	320	211	493.5	83.43
Bus 2-TR-2-P	0.48	93.16	320	211	493.5	83.43
Bus 2-TR-2-S	0.208	92.85	316	196	1112.9	85
Bus-Cont Load	0.208	92.58	211	131	742.5	85
Bus-Inter Load	0.208	92.65	105	65	370.3	85

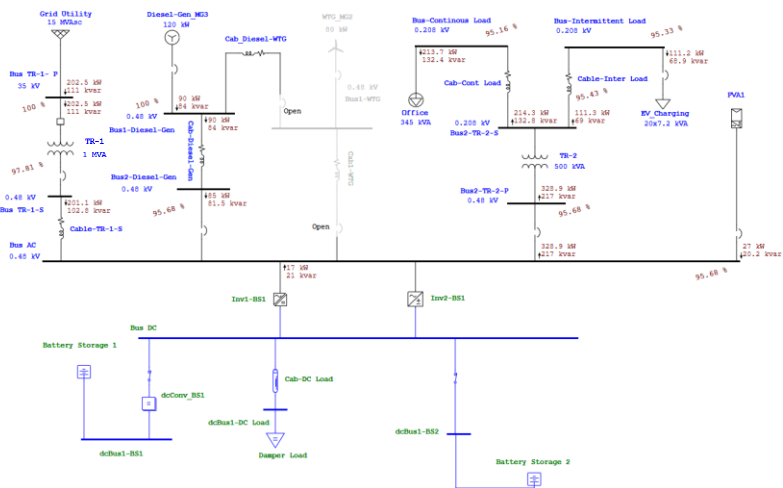
Dari hasil *report* analisa *load flow* berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan beban *charging electric vehicle* ke sistem, dapat menimbulkan penurunan kualitas daya yang ditunjukan dengan penurunan profil tegangan. Hal tersebut dikarenakan pembebanan yang dihasilkan dari proses *charging electric vehicle* yang cukup besar yaitu 370.3 A, dengan daya aktif dan reaktif masing-masing 105 kW dan 65 kVAR.

4.1.1.3 Mode Operasi 3

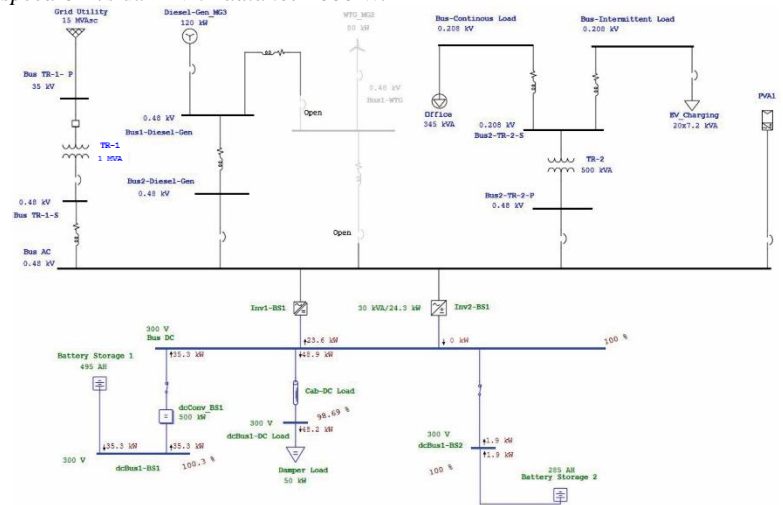
Pada case ketiga asumsi pembebanan dari proses *charging electric vehicle* pada area kantor tetap ada. Namun pada sisi sumber pada mode operasi 3 ini terdapat sumber energi tambahan berupa mikrogrid, yang terdiri dari PV, WTG Baterai dan Diesel Generator (DG). Dalam melakukan pengoperasian sumber mikrogrid dioperasikan berdasarkan koordinasi dari masing-masing pembangkit dengan mengatur *generation* dari masing-masing sumber. Dalam pengoperasiannya sumber PV bergantung pada *irradiance* dari cahaya matahari dan WTG bergantung dari kecepatan angin yang berhembus melewati turbin kemudian komponen DG berfungsi sebagai *back-up* pada saat sistem membutuhkan supply tambahan untuk menjaga kualitas daya dari sistem. Kemudian untuk baterai diatur dari komponen inverter dimana pengaturan berdasarkan dari kebutuhan sistem, saat terjadi kekurangan daya baterai memberikan *supply* tambahan ke sistem

dan pada saat sistem terdapat kelebihan daya untuk supply ke beban maka baterai akan melakukan charging melalui komponen inverter pada simulasi ETAP berikut pembahasan dari mode operasi 3 :

4.1.1.3.1 Paralel Grid – Mikrogrid Case 1



Gambar 4. 5 Simulasi load flow AC mikrogrid dengan grid utility dengan wind speed 0 m/s dan PV irradiance 1000 W/m²



Gambar 4. 6 Simulasi load flow DC mikrogrid dengan grid utility dengan wind speed 0 m/s dan PV irradiance 1000 W/m²

Pada mode operasi *parallel grid* – mikrogrid 1, di asumsikan diesel generator (DG) harus on, karena sistem mengalami penurunan kualitas daya karena WTG tidak menghasilkan *output* daya (karena kecepatan angin dibawah 4 m/s), dan *cut in speed* dari WTG yaitu 4 m/s. Kemudian dari komponen PV dengan *irradiance* 1000 W/m² menghasilkan daya sebesar 27 kW + 20.2 kVAR. Inverter BS-1 mensuplai daya 17 kW + 21 kVAR dan *charging* ke baterai bernilai 0 karena kondisi sistem membutuhkan supply lebih untuk menjaga kualitas daya sistem. Dari pembebanan dan supply dari mikrogrid yang tersedia, sistem mengimpor daya dari grid sebesar 201.1 kW + 102.8 kVAR. Berikut adalah *load flow report* dari mode operasi paralel grid – mikrogrid 1 :

Tabel 4. 2 *Load Flow Report* Mode Operasi Paralel grid – mikrogrid 1

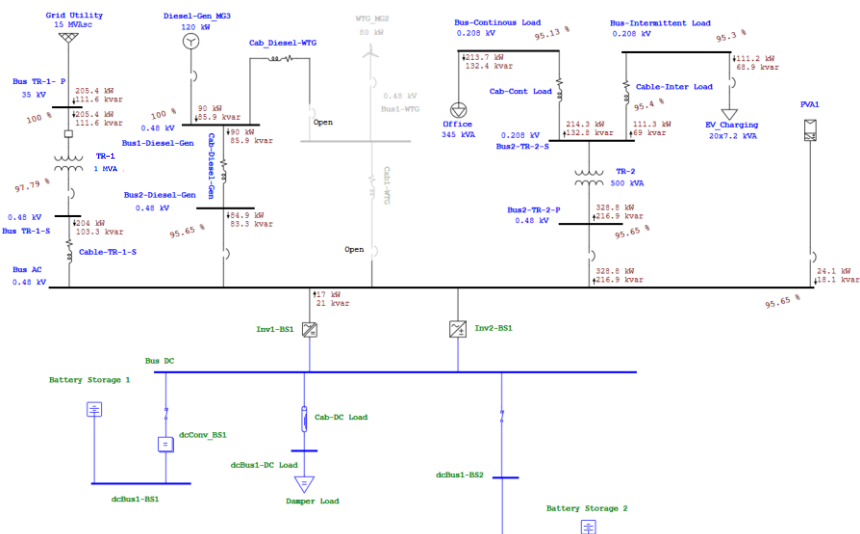
ID	Tegangan		Load Flow			
	kV	%	kW	kVAR	Amp	%PF
Bus TR-1-P	35	100	316	217.5	6.3	79.63
Bus TR-1-S	0.48	97.81	316	217	462.4	81.05
Bus AC	0.48	95.68	321	212	494.7	83.44
Bus 2-TR-2-P	0.48	95.68	321	212	494.7	83.44
Bus 2-TR-2-S	0.208	95.43	318	197	1113	85
Bus-Cont Load	0.208	95.16	212	131	740.7	85
Bus-Inter Load	0.208	95.33	114	50	372.3	85
Inv1-PV	0.48	95.68	20	15	32.1	80

Tabel 4. 3 Hasil *load flow* operasi hybrid AC/DC mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode paralel grid – mikrogrid 1

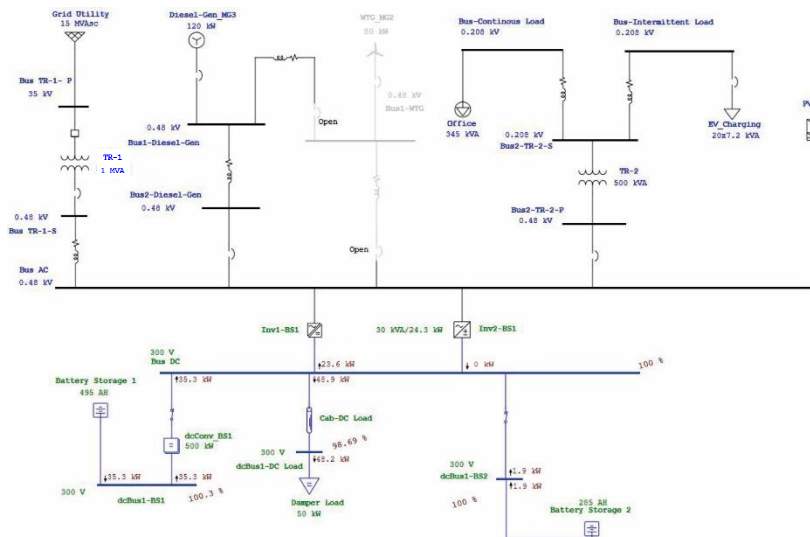
Weather		AC Source		DC Source			AC Load		Power Exchange (kW)		Power Flow Grid - Microgrid
Wind	Irr	DG	WTG	PV	Batt		Office	EV	AC-DC	DC-AC	
					Charge	Supply					
0	1000	90+j84	0	27+20.2	0	17+j21	213.7+j132.4	111.2+j68.9	23.6	0	201.1+j102.8

Dari hasil analisa *load flow*, dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan sumber mikrogrid ke sistem dapat memperbaiki kualitas daya pada sistem yang ditunjukkan dengan kenaikan presentase profil tegangan pada masing-masing bus. Selain adanya kenaikan presentase tegangan, dengan adanya penambahan mikrogrid, impor daya dari grid juga berkurang yang semula impor dari grid sebesar 323.9 kW + 237.8 kVAR turun menjadi 201.1 kW + 102.8 kVAR. Operasi dari DG dibutuhkan karena sistem mengalami penurunan kualitas daya, yang ditunjukkan pada bus-bus sistem yang mengalami *alert* pada saat DG off.

4.1.1.3.2 Parallel Grid – Mikrogrid Case 2



Gambar 4. 7 Simulasi *load flow* AC mikrogrid dengan grid utility dengan wind speed 3 m/s dan PV irradiance 900 W/m²



Gambar 4.8 Simulasi *load flow* DC mikrogrid dengan *grid utility* dengan *wind speed* 3 m/s dan *PV irradiance* 900 W/m²

Pada mode operasi *parallel grid* – mikrogrid 2, diasumsikan WTG masih tidak menghasilkan *output* daya karena kecepatan angin 3 m/s, dan *cut in speed* dari WTG yaitu 4 m/s. Karena kondisi sistem yang membutuhkan peran supply tambahan, maka diesel generator (DG) harus on, karena sistem mengalami penurunan kualitas daya. Kemudian dari komponen PV diasumsikan *irradiance* sebesar 900 W/m² menghasilkan daya sebesar 24.1 kW + 18.1 kVAR. Inverter BS-1 mensuplai daya 173 kW + 21 kVAR dan *charging* ke baterai bernilai 0 karena kondisi sistem membutuhkan supply lebih untuk menjaga kualitas daya sistem. Dari pembebanan dan supply dari mikrogrid yang tersedia, sistem mengimpor daya dari grid sebesar 204 kW + 103.3 kVAR. Berikut adalah *load flow report* dari mode operasi *parallel grid* – mikrogrid 2 :

Tabel 4. 4 *Load Flow Report* Mode Operasi *Parallel grid* – mikrogrid 2

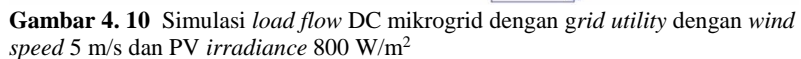
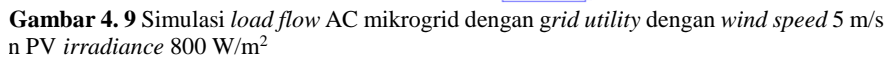
ID	Tegangan		Load Flow			
	kV	%	kW	kVAR	Amp	%PF
Bus TR-1-P	35	100	270	158.2	5.2	86.28
Bus TR-1-S	0.48	97.79	269.8	150.6	376.4	87.32
Bus AC	0.48	95.65	328.1	216.5	495.1	83.47
Bus 2-TR-2-P	0.48	95.65	328.1	216.5	495.1	83.47
Bus 2-TR-2-S	0.208	95.4	325	201	1113.9	85
Bus-Cont Load	0.208	95.13	214	133	734	85
Bus- Inter Load	0.208	95.3	119	69	379.9	85
Inv1-PV	0.48	97.65	20	15	31.5	80

Tabel 4. 5 Hasil *load flow* operasi hybrid AC/DC mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode *parallel grid* – mikrogrid 2

Weather		AC Source		DC Source			AC Load		Power Exchange (kW)		Power Flow Grid - Microgrid
Wind	Irr	DG	WTG	PV	Batt		Office	EV			
					Charge	Supply			AC-DC	DC-AC	
3	900	90+j85.9	0	24.1+j18.1	0	17+j21	213.7+j132.4	111.2+j68.9	23.6	0	204+j103.3

Dari hasil *report* analisa *load flow* berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa dengan perubahan dari *irradiance* PV menjadi 900 W/m² *output* daya dari PV menjadi turun sehingga terjadi peningkatan pada impor grid sebesar 204 kW + 103.3 kVAR. Untuk daya yang dihasilkan dari output mikrogrid berupa PV, baterai dan grid masih belum mampu diandalkan untuk memberikan hasil yang baik pada sistem sehingga operasi dari DG dibutuhkan karena sistem mengalami penurunan kualitas daya, yang ditunjukan pada bus-bus sistem yang mengalami *alert* pada

4.1.1.3.3 Paralel Grid – Mikrogrid Case 3



Pada mode operasi *parallel grid* – mikrogrid 3, diasumsikan WTG menghasilkan kecepatan angin 5 m/s dan menghasilkan 75.2 kW + j87.9 kVAR . Diesel generator (DG) diawali dengan kondisi off karena PV dan WTG menghasilkan output dayanya masing-masing. Pada komponen PV diasumsikan *irradiance* sebesar 800 W/m² menghasilkan daya sebesar 21.3kW + 16 kVAR. Inverter BS-1 mensuplai daya 22 kW + 15 kVAR ke sistem dan *charging* ke baterai bernilai 0 karena kondisi sistem membutuhkan *supply* lebih untuk menjaga kualitas daya sistem. Dari pembebanan dan supply dari mikrogrid yang tersedia, sistem mengimpor daya dari grid sebesar 215.9 kW + 109.9 kVAR. Berikut adalah *load flow report* dari mode operasi *parallel grid* – mikrogrid 3 :

Tabel 4. 6 *Load Flow Report Mode Operasi Parallel grid – mikrogrid 3*

ID	Tegangan		Load Flow			
	kV	%	kW	kVAR	Amp	%PF
Bus TR-1-P	35	100	255.8	145	4.9	88
Bus TR-1-S	0.48	97.65	255.7	138.3	355.7	89.7
Bus AC	0.48	95.37	329.4	217.3	495.2	83.5
Bus 2-TR-2-P	0.48	95.37	329.4	217.3	495.2	83.5
Bus 2-TR-2-S	0.208	95.11	326	202	1114.1	85
Bus-Cont Load	0.208	94.84	214	133	733	85
Bus- Inter Load	0.208	95.01	111	69	381.3	85
Bus1-WTG	0.48	100	44	68	98.6	54.33
Inv1-PV	0.48	95.37	20	12.4	29.6	84.93
Inv2-BS	0.48	95.37	15	13.8	25.6	73.55

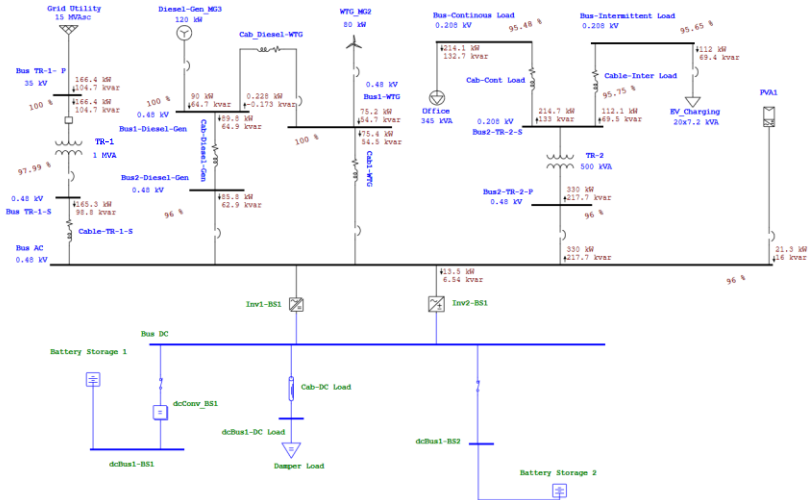
Tabel 4. 7 Hasil *load flow* operasi hybrid AC/DC mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode *parallel grid* – mikrogrid 3

Weather		AC Source		DC Source			AC Load		Power Exchange (kW)		Power Flow Grid - Microgrid
Wind	Irr	DG	WTG	PV	Batt		Office	EV	AC-DC	DC-AC	
					Charge	Supply					
5	800	0	75.2+j87.9	21.3+j16	0	22+j15	213.3+j132.2	110.5+j68.5	29.2	0	215.9+j109.9

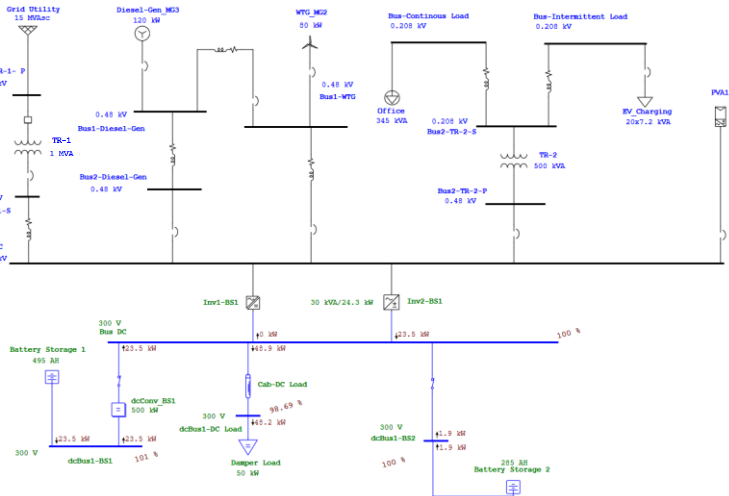
Dari hasil *report* analisa *load flow* berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa dengan perubahan dari *irradiance* PV menjadi 800 W/m² output daya dari PV menjadi turun. Adanya *supply* tambahan dari WTG disaat kecepatan angin diatas *cut in speed* WTG belum dapat mencapai hasil yang baik, dikarenakan komponen sistem mengalami *alert* dikarenakan adanya *under voltage* pada bus beban. Hal tersebut

membutuhkan adanya perbaikan *case* dimana komponen DG akan diaktifkan untuk memperbaiki keadaan daripada sistem.

4.1.1.3.4 Paralel Grid – Mikrogrid Perbaikan Case 3



Gambar 4. 11 Simulasi perbaikan *load flow* AC mikrogrid dengan *grid utility* dengan *wind speed* 5 m/s dan *PV irradiance* 800 W/m²



Gambar 4. 12 Simulasi perbaikan *load flow* DC mikrogrid dengan *grid utility* dengan *wind speed* 5 m/s dan *PV irradiance* 800 W/m²

Pada mode operasi perbaikan *parallel grid* – mikrogrid 3, diasumsikan WTG masih menghasilkan *output* daya dengan kecepatan angin 5 m/s. Diesel generator (DG) sebagai back up sistem di bangkitkan karena sistem membutuhkan supply tambahan, karena output daya dari PV dan WTG saja belum dapat memberikan hasil yang baik pada simulasi. Pada komponen PV diasumsikan *irradiance* sebesar 800 W/m² menghasilkan daya sebesar 21.3kW + 16 kVAR. Inverter BS-1 tidak mensuplai daya dikarenakan supply tambahan dari DG sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan sistem. Namun untuk inverter BS-2 melakukan proses *charging* ke baterai sebesar 13.5 kW + 6.54 kVAR. Dari pembebanan dan supply dari mikrogrid yang tersedia, sistem mengimpor daya dari grid sebesar 165.3 kW + 98.8 kVAR. Berikut adalah load flow report dari perbaikan mode operasi *parallel grid* – mikrogrid 3 :

Tabel 4. 8 *Load Flow Report* Mode Operasi *Parallel grid* – mikrogrid 3

ID	Tegangan		Load Flow			
	kV	%	kW	kVAR	Amp	%PF
Bus TR-1-P	35	100	195.9	102.3	3.6	88.65
Bus TR-1-S	0.48	99.19	195.9	98.5	268.9	89.34
Bus AC	0.48	97.000	333.6	219.9	495.5	83.49
Bus 2-TR-2-P	0.48	97.000	333.6	219.9	495.5	83.49
Bus 2-TR-2-S	0.208	96.921	330	205	1114.9	85
Bus-Cont Load	0.208	96.52	216	134	728.4	85
Bus- Inter Load	0.208	96.58	114	70.8	386	85
Bus1-WTG	0.48	100	44	66.5	95.9	55.2
Bus1-Diesel-Gen	0.48	100	65	53.1	101	77.47
Bus2-Diesel-Gen	0.48	97.000	62.7	52	101	77.05
Inv1-PV	0.48	97.000	20	5.78	25.8	96.06
Inv2-BS	0.48	97.000	15	6.43	20.2	91.92

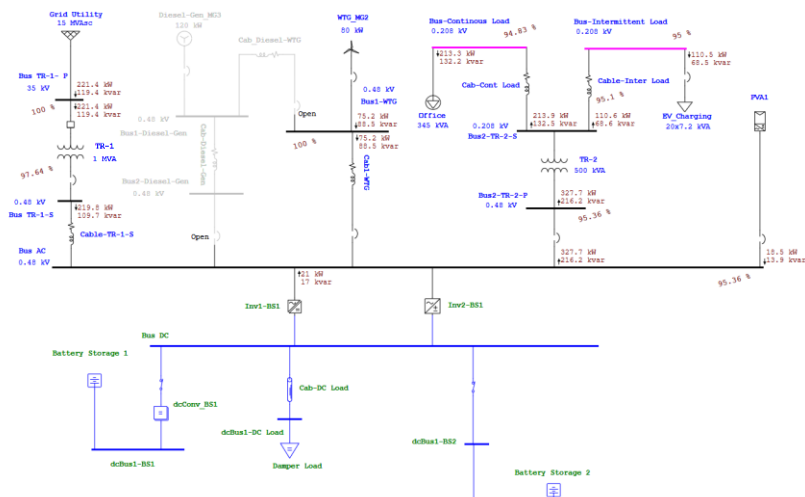
Tabel 4. 9 Hasil *load flow* operasi hybrid AC/DC perbaikan mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode *parallel grid* – mikrogrid 3

Weather		AC Source		DC Source			AC Load		Power Exchange (kW)		Power Flow Grid - Microgrid
Wind	Irr	DG	WTG	PV	Batt		Office	EV			
					Charge	Supply			AC-DC	DC-AC	
5	800	90+j64.7	75.2+54.7	21.3+j16	13.5+j6.54	0	214.1+j132.7	112+j69.4	0	23.5	165.3+j98.8

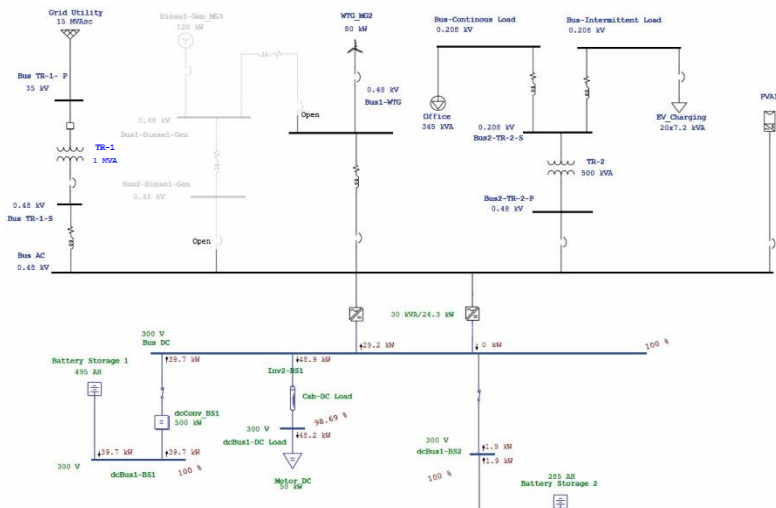
Dari hasil *report* analisa *load flow* berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan sumber mikrogrid berupa diesel generator pada sistem dapat memperbaiki profil tegangan dan juga over

eksitasi pada komponen WTG. Penambahan diesel generator pada sistem juga mengurangi impor dari grid yaitu dari 223.4 kW turun ke 165.3 kW.

4.1.1.3.5 Paralel Grid – Mikrogrid Case 4



Gambar 4.13 Simulasi *load flow* AC mikrogrid dengan *grid utility* dengan *wind speed* 10 m/s dan *PV irradiance* 700 W/m²



Gambar 4.14 Simulasi *load flow* AC mikrogrid dengan *grid utility* dengan *wind speed* 10 m/s dan *PV irradiance* 700 W/m²

Pada mode operasi *parallel grid* – mikrogrid 4, diasumsikan WTG menghasilkan *output* daya karena kecepatan angin 10 m/s. Diesel generator (DG) diawali dengan kondisi off untuk melihat kondisi pada saat simulasi, karena PV dan WTG menghasilkan *output* dayanya masing-masing yang bergantung dari karakteristik cuaca. Pada komponen PV diasumsikan *irradiance* sebesar 700 W/m² menghasilkan daya sebesar 18.5 kW + 13.9 kVAR. Inverter BS-1 mensuplai daya 21 kW + 17 kVAR ke sistem dan *charging* ke baterai bernilai 0 karena kondisi sistem membutuhkan *supply* lebih untuk menjaga kualitas daya sistem. Dari pembebanan dan *supply* dari mikrogrid yang tersedia, sistem mengimpor daya dari grid sebesar 219.8 kW + 109.7 kVAR. Berikut adalah load flow report dari mode operasi *parallel grid* – mikrogrid 3 :

Tabel 4. 10 Load Flow Report Mode Operasi Paralel grid – mikrogrid 4

ID	Tegangan		Load Flow			
	kV	%	kW	kVAR	Amp	%PF
Bus TR-1-P	35	100	195.9	102.3	3.6	88.65
Bus TR-1-S	0.48	97.61	195.9	98.5	268.9	89.34
Bus AC	0.48	95.3	333.6	219.9	495.5	83.49
Bus 2-TR-2-P	0.48	95.3	333.6	219.9	495.5	83.49
Bus 2-TR-2-S	0.208	95.04	330	205	1114.9	85
Bus-Cont Load	0.208	94.77	216	134	728.4	85
Bus- Inter Load	0.208	94.94	114	70.8	386	85
Bus1-WTG	0.48	100	47	54	89.1	66
Inv1-PV	0.48	95.3	20	5.78	25.8	96.05
Inv2-BS	0.48	95.3	15	6.43	20.2	91.9

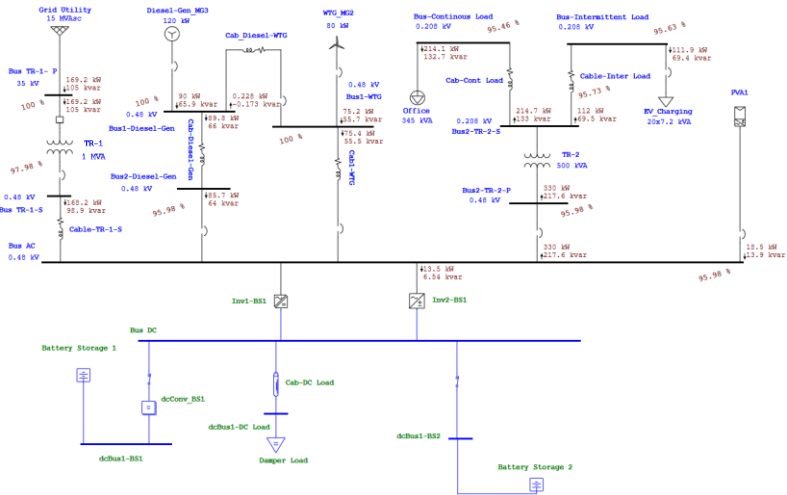
Tabel 4. 11 Hasil *load flow* operasi hybrid AC/DC perbaikan mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode *parallel grid* – mikrogrid 4

Weather		AC Source		DC Source			AC Load		Power Exchange (kW)		Power Flow Grid - Microgrid
Wind	Irr	DG	WTG	PV	Batt		Office	EV			
					Charge	Supply			AC-DC	DC-AC	
10	700	0	75.2+j88.5	18.5+j13.9	0	21+j17	213.3+j132.2	110.5+j68.5	29.2	0	219.8+j109.7

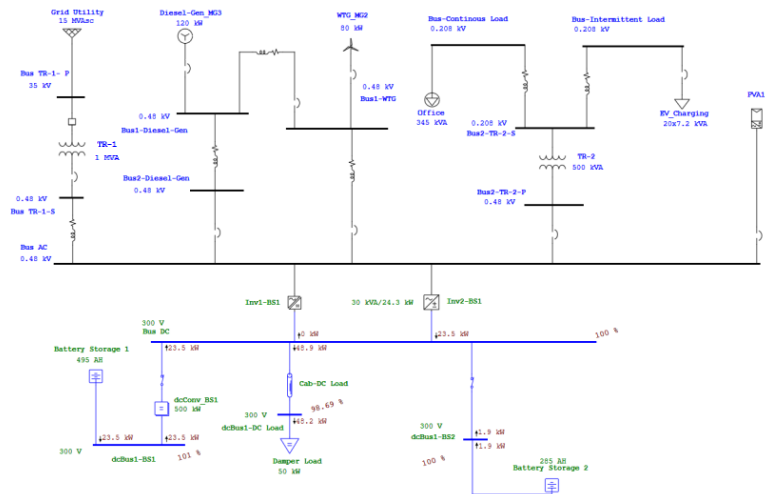
Dari hasil *report* analisa *load flow* berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa dengan perubahan dari *irradiance* PV menjadi 800 W/m² *output* daya dari PV menjadi turun. Adanya *supply* tambahan dari WTG disaat kecepatan angin 10 m/s belum dapat mencapai hasil yang baik, dikarenakan komponen sistem mengalami *alert* dikarenakan adanya *under voltage* pada bus beban dan over eksitasi pada komponen WTG.

Hal tersebut membutuhkan adanya perbaikan *case* dimana komponen DG akan diaktifkan untuk memperbaiki keadaan daripada sistem.

4.1.1.3.6 Paralel Grid – Mikrogrid Perbaikan Case 4



Gambar 4. 15 Simulasi perbaikan *load flow* AC mikrogrid dengan *grid utility* dengan *wind speed* 10 m/s dan *PV irradiance* 700 W/m²



Gambar 4. 16 Simulasi perbaikan *load flow* DC mikrogrid dengan *grid utility* dengan *wind speed* 10 m/s dan *PV irradiance* 700 W/m²

Pada mode operasi perbaikan paralel grid – mikrogrid 4, diasumsikan WTG masih menghasilkan *output* daya dengan kecepatan angin 10 m/s. Diesel generator (DG) sebagai back-up sistem di bangkitkan karena sistem membutuhkan supply tambahan, karena output daya dari PV dan WTG saja belum dapat memberikan hasil yang baik pada simulasi. Pada komponen PV diasumsikan *irradiance* sebesar 700 W/m² menghasilkan daya sebesar 18.5 kW + 13.9 kVAR. Inverter BS-1 tidak mensuplai daya dikarenakan supply tambahan dari DG sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan sistem, sehingga inverter BS-2 melakukan proses *charging* ke baterai sebesar 13.5 kW + 6.54 kVAR. Dari pembebanan dan *supply* dari mikrogrid yang tersedia, sistem mengimpor daya dari grid sebesar 168.2 kW + 98.9 kVAR. Berikut adalah *load flow report* dari perbaikan mode operasi paralel grid – mikrogrid 4 :

Tabel 4. 12 *Load Flow Report* Mode Operasi Paralel grid – mikrogrid 4

ID	Tegangan		Load Flow			
	kV	%	kW	kVAR	Amp	%PF
Bus TR-1-P	35	100	195.9	102.3	3.6	88.65
Bus TR-1-S	0.48	97.98	195.9	98.5	268.9	89.34
Bus AC	0.48	95.98	333.6	219.9	495.5	83.49
Bus 2-TR-2-P	0.48	95.98	333.6	219.9	495.5	83.49
Bus 2-TR-2-S	0.208	95.73	330	205	1114.9	85
Bus-Cont Load	0.208	95.46	216	134	728.4	85
Bus- Inter Load	0.208	95.63	114	70.8	386	85
Bus1-WTG	0.48	100	44	66.5	95.9	55.2
Bus1-Diesel-Gen	0.48	100	65	53.1	101	77.47
Bus2-Diesel-Gen	0.48	95.98	62.7	52	101	77.05
Inv1-PV	0.48	95.98	20	5.78	25.8	96.06
Inv2-BS	0.48	95.98	15	6.43	20.2	91.92

Tabel 4. 13 Hasil *load flow* operasi hybrid AC/DC perbaikan mode operasi berdasarkan karakteristik cuaca mode paralel grid – mikrogrid 4

Weather		AC Source		DC Source			AC Load		Power Exchange (kW)		Power Flow Grid - Microgrid
Wind	Irr	DG	WTG	PV	Batt		Office	EV			
					Charge	Supply			AC-DC	DC-AC	
10	700	90+j65.9	75.2+j55.7	18.5+j13.9	13.5+j6.54	0	214.1+j132.7	111.9+j69.4	0	23.5	168.2+j98.9

Dari hasil *report* analisa *load flow* berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan sumber mikrogrid berupa diesel generator pada sistem dapat memperbaiki profil tegangan dan juga over eksitasi pada komponen WTG. Penambahan diesel generator pada

sistem juga mengurangi impor dari *grid* yaitu dari 219.8 kW turun ke 168.2 kW.

Jadi dari keseluruhan hasil skenario simulasi mode operasi 3 dimana mikrogrid paralel dengan grid terutama pada pembahasan karakteristik dari sistem operasi dari PV, WTG, Diesel dan Baterai dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 14 Hasil *load flow* keseluruhan operasi hybrid AC/DC berdasarkan karakteristik cuaca mode paralel grid – mikrogrid

Weather		AC Source		DC Source			AC Load		Power Exchange (kW)		Power Flow Grid - Microgrid
Wind	Irr	DG	WTG	PV	Batt		Office	EV			
					Charge	Supply			AC-DC	DC-AC	
0	1000	90+j84	0	27+20.2	0	17+j21	213.7+j132.4	111.2+j68.9	23.6	0	201.1+j102.8
3	900	90+j85.9	0	24.1+j18.1	0	17+j21	213.7+j132.4	111.2+j68.9	23.6	0	204+j103.3
5	800	0	75.2+j87.9	21.3+j16	0	22+j15	213.3+j132.2	110.5+j68.5	29.2	0	215.9+j109.9
5	800	90+j64.7	75.2+j54.7	21.3+j16	13.5+j6.54	0	214.1+j132.7	112+j69.4	0	23.5	165.3+j98.8
10	700	0	75.2+j88.5	18.5+j13.9	0	21+j17	213.3+j132.2	110.5+j68.5	29.2	0	219.8+j109.7
10	700	90+j65.9	75.2+j55.7	18.5+j13.9	13.5+j6.54	0	214.1+j132.7	111.9+j69.4	0	23.5	168.2+j98.9

Dari hasil perbandingan tabel diatas dapat dianalisa dengan adanya peningkatan dari *irradiance* PV seiring dengan *output* daya yang keluar. Begitu juga untuk WTG semakin meningkat kecepatan angin yang di set pada simulasi, *output* daya yang keluar juga akan mengalami peningkatan. Namun pada saat WTG di aktifkan pada kecepatan angin 5 – 10 m/s (didas *cut in speed*), sistem masih membutuhkan peran dari DG agar kondisi dari sistem lebih baik, karena pada sistem masih didapati *alert marginal* yang dikarenakan karena adanya profil tegangan dibawah 95% dan adanya over eksitasi pada WTG dikarenakan karena kurangnya *supply* reaktif yang dapat di *supply* oleh kapasitas WTG sehingga *supply* dari DG dibutuhkan untuk menjaga agar kualitas daya dari sistem tetap baik.

4.2 Analisa Sistem Beban Intermiten

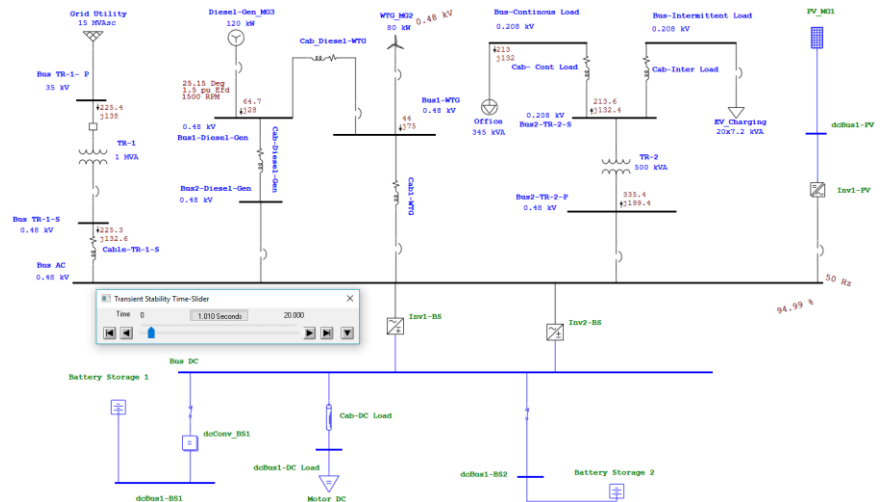
Analisa ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar dampak yang ditimbulkan dari masuk dan keluarnya beban *charging electric vehicle* yang mempunyai sifat intermiten pada sistem sebagai beban. Analisa transien yang disimulasikan pada saat kondisi *grid utility* dan semua sumber mikrogrid masuk ke sistem dimana set dari case ini merupakan mode operasi 3 skenario perbaikan case 4. Dimana *irradiance* bernilai 700 W/m² dan kecepatan angin 10 m/s dengan kondisi DG on.

Berikut kondisi operasi sistem yang akan disimulasikan untuk melayani beban intermiten :

4.2.1 Analisa Kestabilan Transien

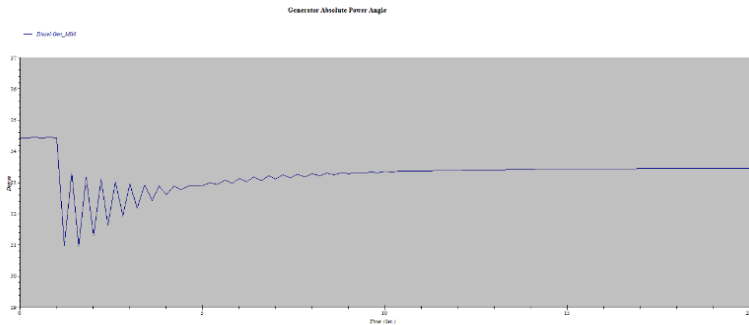
Kondisi ini diasumsikan pada saat kondisi *grid utility* dan semua sumber mikrogrid masuk ke sistem untuk melayani beban *charging electric vehicle*. Dimana pada simulasinya akan di analisa dampak masuk dan lepasnya beban 20 unit *charging electric vehicle* secara bersamaan pada sistem. Dibawah ini merupakan simulasi dari analisa yang dilakukan :

4.2.1.1 Beban Charging Electric Vehicle Masuk



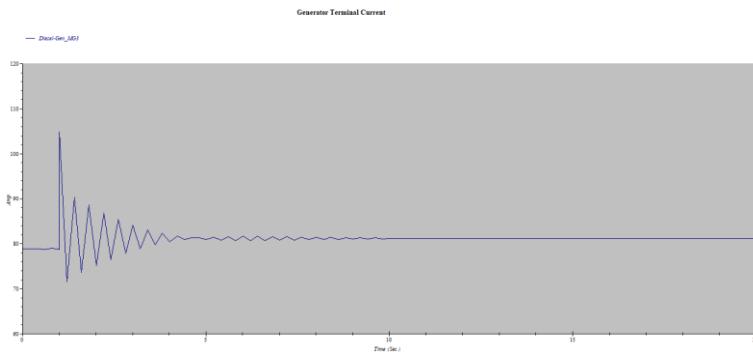
Gambar 4. 17 Simulasi *Transient Stability* saat EV masuk

Pada gambar diatas beban *charging electric vehicle* masuk pada detik ke 1,010. Namun berdasarkan waktu pada *setting event* pada *study case*, beban di set masuk pada detik ke 1. Pada kondisi ini dapat dilihat dampak yang terjadi ketika masuknya beban *charging electric vehicle* pada komponen sistem dari bentuk gelombang pada gambar dibawah ini :



Gambar 4. 18 *Power Angle* pada Diesel Generator pada saat *charging electric vehicle* masuk

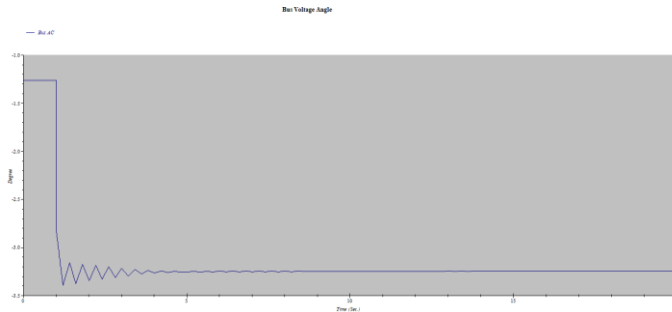
Pada Gambar 4.18 masuknya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala dari *sub* transien pada detik ke 1,21 dengan besar sudut rotor sebesar $30,98^\circ$. Gejala *sub* transien yang terjadi akibat masuknya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa gelombang transien sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* pada detik ke 16,91 dengan besar sudut rotor sebesar $33,44^\circ$. Hal ini menunjukkan bahwa dengan masuknya beban *charging electric vehicle* ke sistem dapat berdampak pada kestabilan sudut putaran rotor pada diesel generator yang ikut mensuplai daya ke beban.



Gambar 4. 19 *Terminal Current* pada Diesel Generator pada saat *charging electric vehicle* masuk

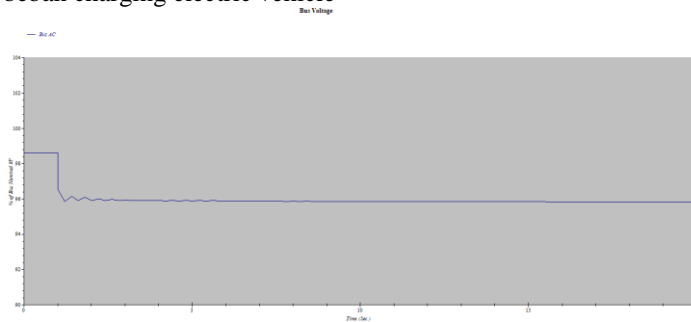
Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dari dampak masuknya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada arus terminal diesel generator. Pada Gambar 4.19 terjadi gejala *sub* transien yang ditunjukkan dari nilai arus yang

mengalami peningkatan secara tiba-tiba selama 0,01 detik yaitu dari detik 1 sampai 1,01 dengan nilai berturut-turut 78,8A ke 104,9A akibat adanya beban *charging electric vehicle* yang masuk ke sistem. Gejala sub transien yang terjadi akibat masuknya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa transien arus sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* hingga detik ke 11,61 dengan nilai arus *steady state* 81,2 A.



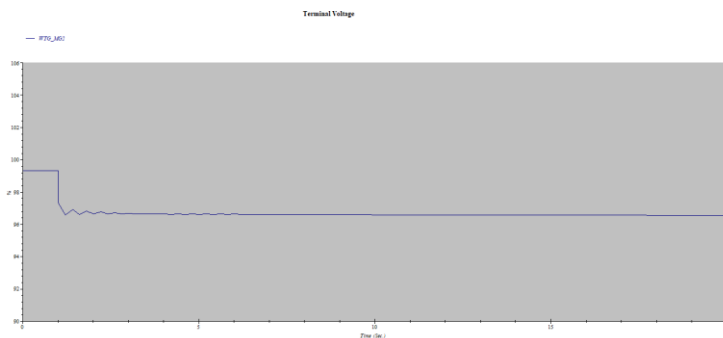
Gambar 4. 20 Voltage Angle pada Bus AC pada saat *charging electric vehicle* masuk

Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dari dampak masuknya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada sudut tegangan Bus AC. Pada Gambar 4.20 dapat dilihat efek yang ditimbulkan akibat masuknya beban *charging electric vehicle* yaitu menimbulkan gejala *sub transien* pada detik ke 1,21 dengan besar sudut tegangan $-3,31^{\circ}$ sampai ke keadaan *steady state* pada detik ke 8,61 dengan besar sudut tegangan $-3,16^{\circ}$. Untuk perubahan pada sudut tegangan bus yang terjadi akibat masuknya beban *charging electric vehicle*



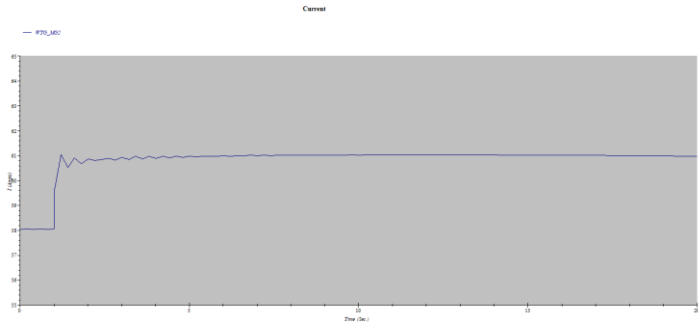
Gambar 4. 21 Voltage pada Bus AC pada saat *charging electric vehicle* masuk

Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dari dampak masuknya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada tegangan Bus AC. Pada Gambar 4.21 terjadi gejala *sub* transien yang ditunjukkan dari nilai tegangan yang mengalami penurunan secara tiba-tiba selama 0,21 detik yaitu dari detik 1 sampai 1,21 dari presentase 98,6% turun secara tiba-tiba ke 95,8542% akibat adanya beban *charging electric vehicle* yang masuk ke sistem. Gejala *sub* transien yang terjadi akibat masuknya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa transien tegangan sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* hingga detik ke 10,01 dengan nilai presentase tegangan 95,8508% dari tegangan operasi 480 V.



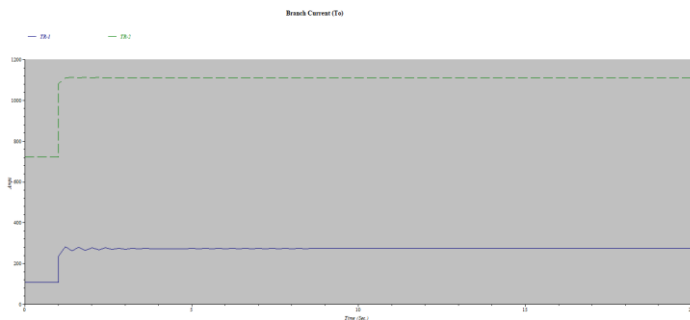
Gambar 4. 22 Terminal Voltage pada WTG pada saat *charging electric vehicle* masuk

Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dari dampak masuknya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada tegangan terminal WTG. Pada Gambar 4.22 terjadi gejala *sub* transien yang ditunjukkan dari nilai tegangan yang mengalami penurunan secara tiba-tiba selama 0,21 detik yaitu dari detik 1 sampai 1,21 dari presentase 99,313% turun secara tiba-tiba ke 96,575% akibat adanya beban *charging electric vehicle* yang masuk ke sistem. Gejala *sub* transien yang terjadi akibat masuknya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa transien tegangan sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* hingga detik ke 9,21 dengan nilai presentase tegangan 96,596% dari tegangan operasi 480 V.



Gambar 4. 23 Terminal Current pada WTG pada saat *charging electric vehicle* masuk

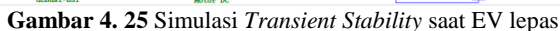
Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dari dampak masuknya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada arus terminal WTG. Pada Gambar 4.23 terjadi gejala *sub* transien yang ditunjukkan dari nilai arus yang mengalami peningkatan secara tiba-tiba selama 0,21 detik yaitu dari detik 1 sampai 1,21 dengan nilai berturut-turut 105,31A ke 109,41A akibat adanya beban *charging electric vehicle* yang masuk ke sistem. Gejala *sub* transien yang terjadi akibat masuknya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa transien arus sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* hingga detik ke 10,41 dengan nilai arus *steady state* 61,03 A.



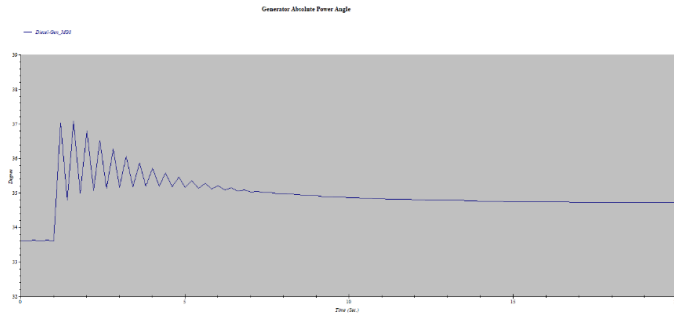
Gambar 4. 24 Arus Sekunder TR-1 dan TR-2 pada saat *charging electric vehicle* masuk

Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dampak dari masuknya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada arus sekunder TR-1 dan TR-2. Pada Gambar 4.24 masuknya *charging electric vehicle* pada TR-1 menimbulkan adanya

4.2.1.2 Beban *Charging Electric Vehicle* Lepas

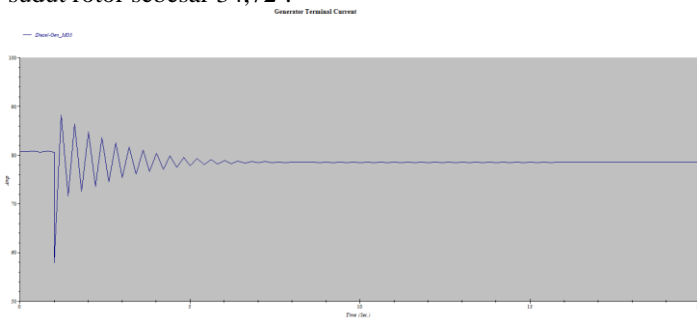


68



Gambar 4. 26 Power Angle pada Diesel Generator pada saat *charging electric vehicle* lepas

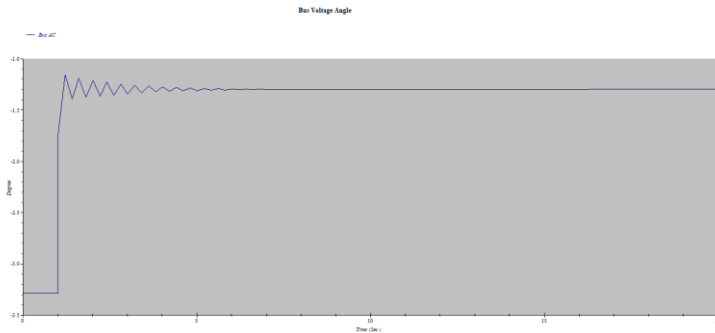
Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dampak dari lepasnya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada sudut rotor diesel generator. Pada Gambar 4.26 lepasnya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala dari *sub* transien pada detik ke 1,21 dengan besar sudut rotor sebesar $37,02^\circ$. Gejala *sub* transien yang terjadi akibat lepasnya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa gelombang transien sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* pada detik ke 18,61 dengan besar sudut rotor sebesar $34,72^\circ$.



Gambar 4. 27 Terminal Current pada Diesel Generator pada saat *charging electric vehicle* masuk

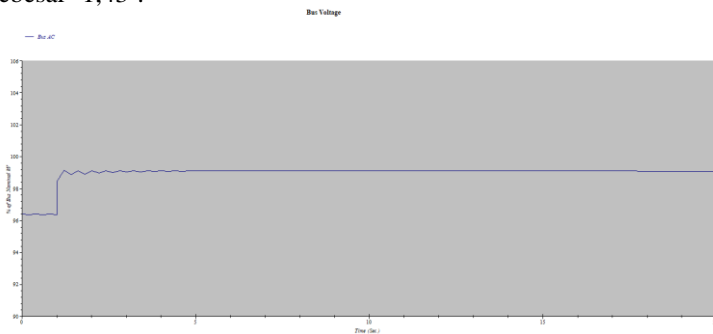
Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dari dampak lepasnya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada arus terminal diesel generator. Pada Gambar 4.27 terjadi gejala *sub* transien yang ditunjukkan dari nilai arus yang mengalami penurunan secara tiba-tiba selama 0,01 detik yaitu dari detik 1 sampai 1,01 dengan nilai berturut-turut 80,6A ke 57,9 A akibat

adanya beban *charging electric vehicle* yang lepas dari sistem. Gejala sub transien yang terjadi akibat lepasnya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa transien arus sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* hingga detik ke 7,61 dengan nilai arus *steady state* 78,6 A.



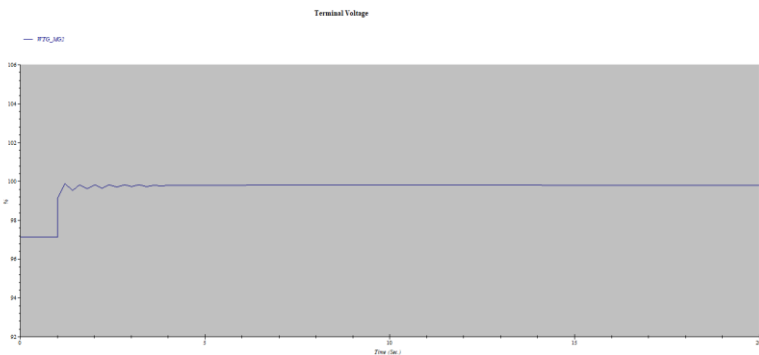
Gambar 4. 28 Voltage Angle pada Bus AC pada saat *charging electric vehicle* masuk

Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dampak dari lepasnya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada tegangan sudut Bus AC. Pada Gambar 4.28 lepasnya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala dari sub transien pada detik ke 1,21 dengan besar sudut rotor sebesar $-1,28^{\circ}$. Gejala sub transien yang terjadi akibat masuknya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa gelombang transien sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* pada detik ke 6,61 dengan besar sudut rotor sebesar $-1,43^{\circ}$.



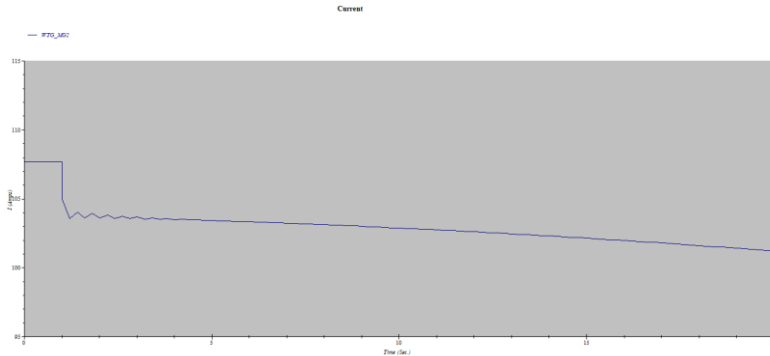
Gambar 4. 29 Voltage pada Bus AC pada saat *charging electric vehicle* lepas

Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dari dampak lepasnya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada tegangan Bus AC. Pada Gambar 4.29 terjadi gejala *sub* transien yang ditunjukkan dari nilai tegangan yang mengalami peningkatan secara tiba-tiba selama 0,21 detik yaitu dari detik 1 sampai 1,21 dari presentase 96,3876% turun secara tiba-tiba ke 99,153% akibat adanya beban *charging electric vehicle* yang lepas ke sistem. Gejala *sub* transien yang terjadi akibat lepasnya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa transien tegangan sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* hingga detik ke 4,61 dengan nilai presentase tegangan 99,0914% dari tegangan operasi 480 V.



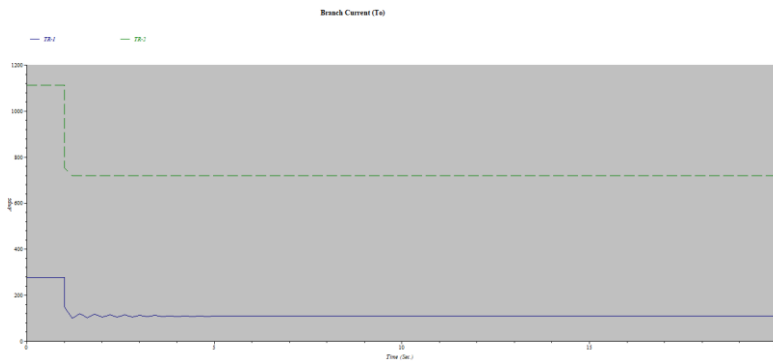
Gambar 4. 30 *Terminal Voltage* pada WTG pada saat *charging electric vehicle* lepas

Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dari dampak lepasnya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada tegangan terminal WTG. Pada Gambar 4.30 terjadi gejala *sub* transien yang ditunjukkan dari nilai tegangan yang mengalami peningkatan secara tiba-tiba selama 0,21 detik yaitu dari detik 1 sampai 1,21 dari presentase 97,117% naik secara tiba-tiba ke 99,877% akibat adanya beban *charging electric vehicle* yang lepas ke sistem. Gejala *sub* transien yang terjadi akibat lepasnya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa transien tegangan sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* hingga detik ke 8,71 dengan nilai presentase tegangan 99,819% dari tegangan operasi 480 V.



Gambar 4. 31 Terminal Current pada WTG pada saat *charging electric vehicle* lepas

Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dari dampak lepasnya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada arus terminal diesel generator. Pada Gambar 4.31 terjadi gejala *sub* transien yang ditunjukkan dari nilai arus yang mengalami penurunan secara tiba-tiba selama 0,21 detik yaitu dari detik 1 sampai 1,21 dengan nilai berturut-turut 105,01A ke 100,92 A akibat adanya beban *charging electric vehicle* yang lepas dari sistem. Gejala sub transien yang terjadi akibat lepasnya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa transien arus sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* hingga detik ke 7,61 dengan nilai arus *steady state* 78,6 A.



Gambar 4. 32 Arus Sekunder TR-1 dan TR-2 pada saat *charging electric vehicle* lepas

Dari gambar gelombang yang ditunjukkan diatas merupakan penggambaran dampak dari lepasnya beban *charging electric vehicle* ke sistem pada arus sekunder TR-1 dan TR-2. Pada Gambar 4.32 masuknya *charging electric vehicle* pada TR-1 menimbulkan adanya efek sub transien yang ditandai dengan turunnya arus trafo secara tiba-tiba yang terjadi pada detik 1 sampai detik ke 1,21 dengan besar arus 276,528A menjadi 101,094A. Gejala *sub transien* yang terjadi akibat masuknya *charging electric vehicle* menimbulkan gejala berupa transien arus sesaat hingga menuju ke keadaan *steady state* hingga detik ke 5,61 dengan nilai arus *steady state* 109,071A. Pada TR-2 masuknya *charging electric vehicle* menimbulkan nilai arus mengalami penurunan secara tiba-tiba yaitu pada detik ke 1 sampai ke detik 1,21 dengan nilai arus 111,66 A naik menjadi 719,155 A. Adanya efek peningkatan arus secara tiba-tiba yang terjadi tidak menimbulkan terjadinya gejala transien, namun nilai arus kembali pada keadaan *steady state* pada detik ke 1,61 dengan nilai arus 719,332 A.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Koordinasi operasi mikrogrid paralel dengan grid sangat dipengaruhi dari karakteristik dari intermitensi sumber dimana sumber PV bergantung pada *irradiance* dan WTG pada kecepatan angin, dimana *output* dari pembangkitan dapat mempengaruhi kualitas daya dari sistem.
2. Dari hasil analisa masuknya beban intermiten berupa *charging electric vehicle* dan lepasnya *charging electric vehicle* pada sistem terjadinya osilasi gelombang transien pada sudut, tegangan, arus dan frekuensi yang terjadi pada setiap komponen sistem, terjadi secara sesaat pada batas rating yang masih dapat diterima oleh peralatan dan juga masih dalam batas standar IEEE 1159 -1995 tentang standar tegangan transien dan IEEE Std C37.106-2003 tentang batas rating standar frekuensi.

5.2 Saran

Penelitian mengenai dampak masuknya beban *charging electric vehicle* pada sistem tenaga listrik perlu di berikan kajian lebih mendalam. Kajian yang dibahas dapat mengenai efek yang ditimbulkan selain pada sifat *charging electric vehicle* yang intermiten sebagai beban, contohnya dapat juga dibahas mengenai efek yang ditimbulkan dari komponen yang ada pada *charger electric vehicle* ke sistem. Pembahasan mengenai karakteristik intermitensi dari sumber juga dapat dimasukkan ke dalam analisa untuk kajian lebih mendalam tentang keandalan dari sumber mikrogrid dalam mensuplai daya pada sistem tenaga listrik dengan karakteristik intermitensi sumber.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Amin, Mihirkumar. *Hybrid microgrid and its coordination*. Diss. California State University, Northridge, 2016.
- [2]. Rahmanov, N. R., O. Z. Kerimov, and S. T. Ahemdoha. "Steady State Simulation on AC-DC microgrid." *IJTPE Journal*, December (2014).
- [3]. Mubarak, H. F. (2013). *Hybrid Wind-Solar Electric Power System*.
- [4]. Martinez de Novoa, Laura. *Dynamics of an Integrated PV/Battery System for EV Charging in a Microgrid*. Diss. UC Irvine, 2016.
- [5]. Chowdhury, Sunetra, and Peter Crossley. *Microgrids and active distribution networks*. The Institution of Engineering and Technology, 2009.
- [6]. Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., & Bossanyi, E. (2011). *Wind energy handbook*. John Wiley & Sons.
- [7]. Meinel A.B and Meinel M.P., Applied Solar Energy, Addison Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1977. p.36
- [8]. Direktorat Jenderal Ketenagaan – Departemen Pertambangan dan Energi, Lokakarya Konservasi Energi, Jakarta, 24-25 Sept 1979.
- [9]. Kadir, Abdul. 2006. Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik. Jakarta: UIPress.
- [10]. "Energy snapshot". 4 October 2017. <https://www.iea.org/newsroom/energysnapshots/announced-wind-and-solar-average-auction-prices.html>
- [11]. ABB.Inc.,Low Voltage Control Products & Systems. 2009."Disconnect switches application in PV system" dalam Majalah ABB. Nomor 1SXU301197B0201
- [12]. Dictionary, Oxford English. "Oxford english dictionary." *Simpson, JA & Weiner, ESC* (1989).

- [13]. Patterson, Maxx, Narciso F. Macia, and Arunachala M. Kannan. "Hybrid microgrid model based on solar photovoltaic battery fuel cell system for intermittent load applications." *IEEE Transactions on Energy Conversion* 30.1 (2015): 359-366.
- [14]. Prabhakara, F. S., and Wilson E. Kazibwe. "Current calculation methodology for manufacturing facilities with intermittent loads." *IEEE transactions on industry applications* 28.2 (1992): 324-328.
- [15]. Help ETAP (Electrical Transien and Analysis Program)

LAMPIRAN

RIWAYAT HIDUP



Nama : Hafidz Aditya Pratama
TTL : Purbalingga, 29 Oktober 1995
Jenis Kelamin : Laki laki
Agama : Islam
Alamat : Jl. Asempayung 60, Gebang
Telp : 0895398274906
Email : hafidzadityaa@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

2001-2007 : MIIS SAMBAS PURBALINGGA
2007-2010 : SMP IS SAMBAS PURBALINGGA
2010-2013 : SMA CAKRA BUANA DEPOK
2013-2016 : D3 TEKNIK ELEKTRO UGM YOGYAKARTA
2016-2018 : S1 TEKNIK ELEKTRO ITS SURABAYA

PENGALAMAN KERJA

2016 : Kerja praktek di PT.PLN Area Surakarta
2017 : Kerja praktek di PT PLN Rayon Dukuh Kupang SBY